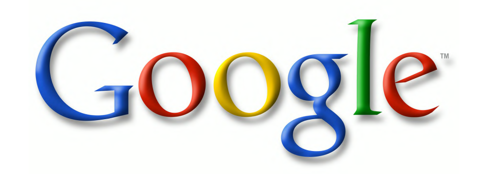
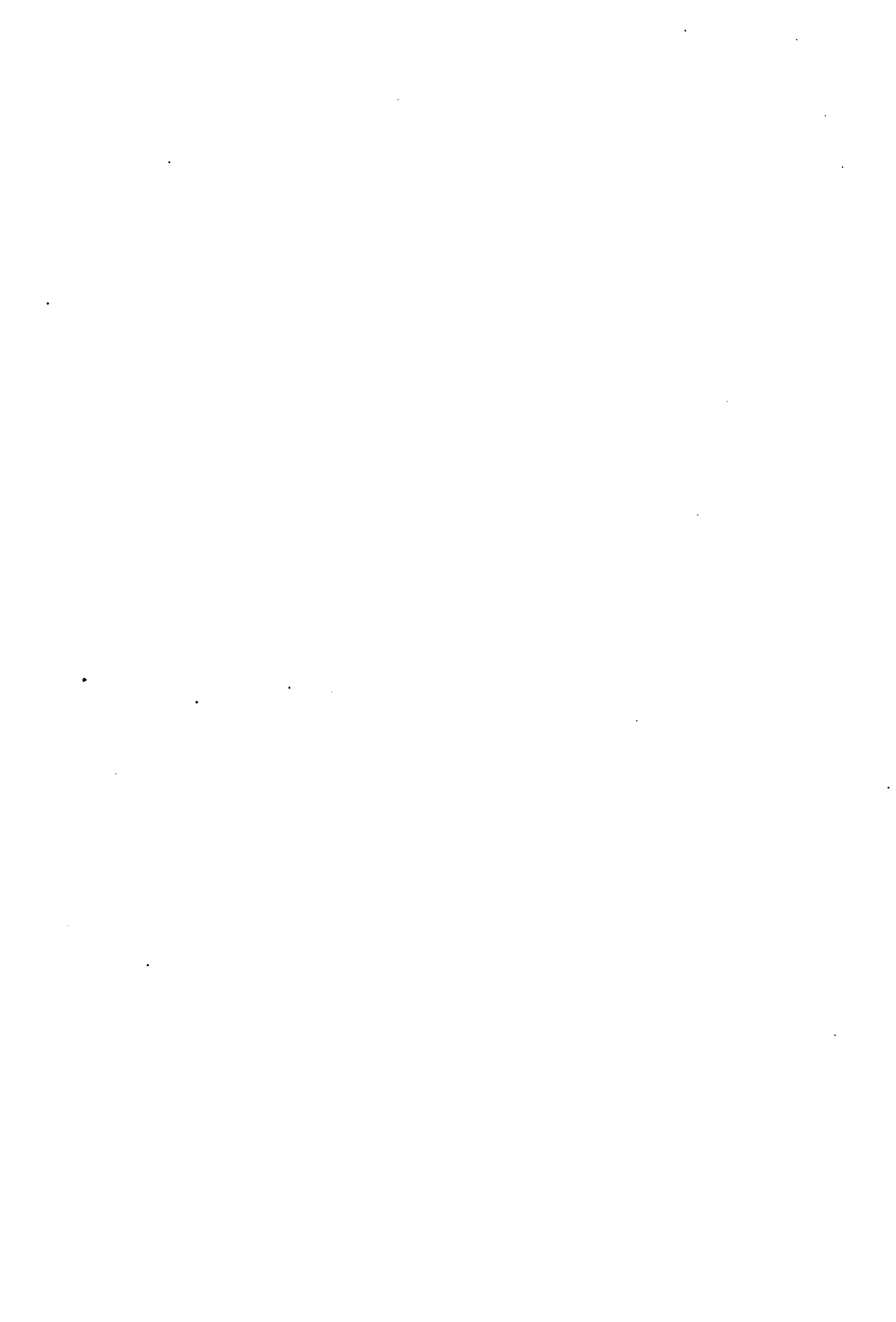


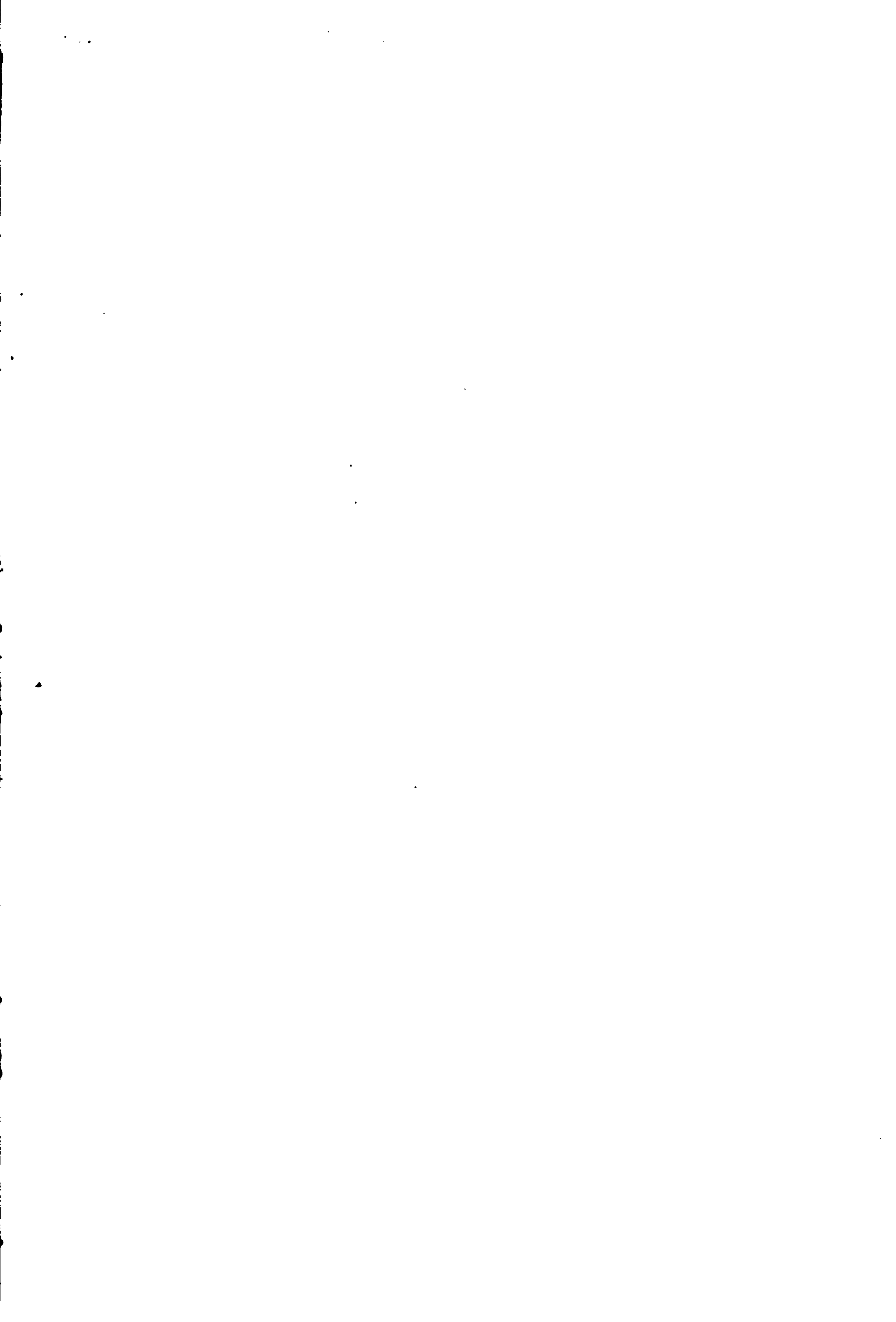

HARVARD
UNIVERSITY
LIBRARY


SIGILLVM ACADEMIAE HARVARDIANAE IN NOV ANG
VE RI TAS
CHRISTO ET ECCLESIAE





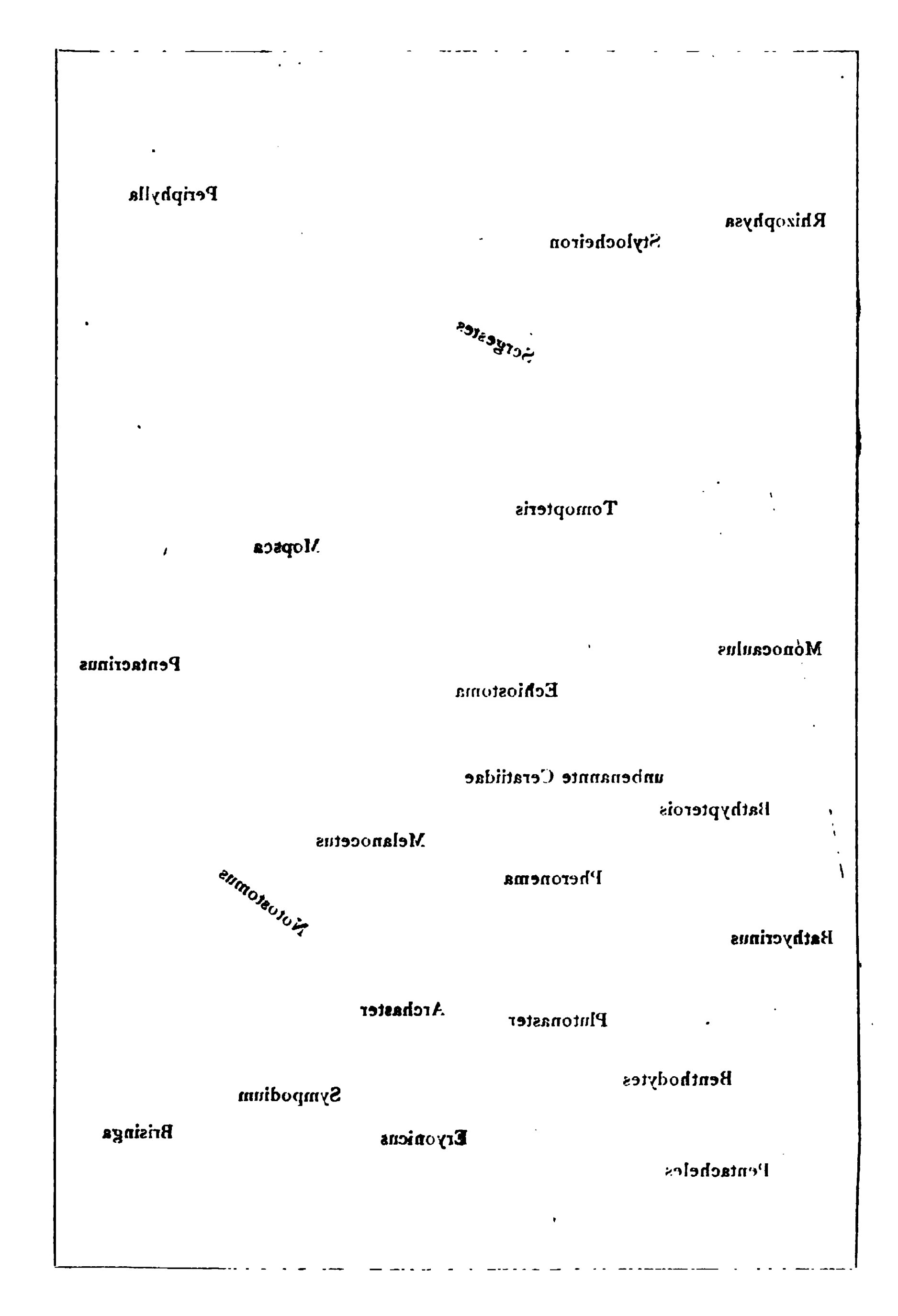




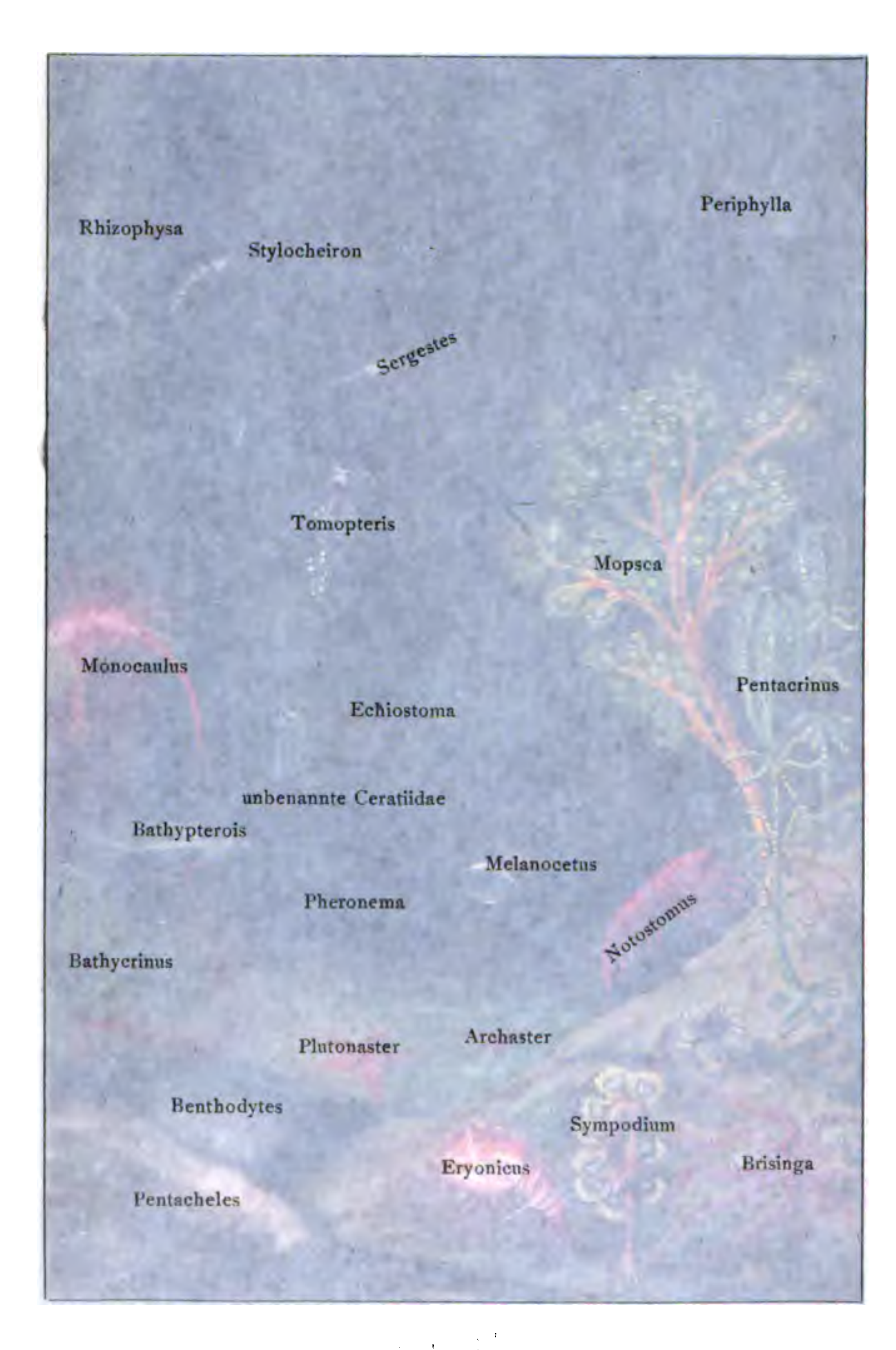


Tiefsee-Idyll.

Verlag von Wilhelm Engelmann in Leipzig.



Tiefsee-Idyll.



Tiefsee-Idyll.

TIERLEBEN

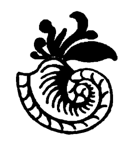
DER

TIEFSEE

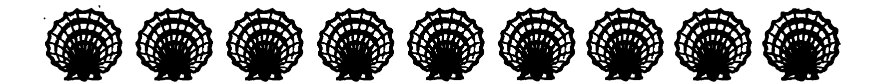
VON

OSWALD SEELIGER
PROFESSOR DER ZOOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT ROSTOCK

MIT EINER FARBIGEN TAFEL



LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1901.



Die deutsche Tiefsee-Expedition, die mit reichen Ergebnissen vor $1\frac{1}{2}$ Jahren heimkehrte, hat die Aufmerksamkeit weitester Kreise den Tiefen des Ozeans zugewendet. Wenn in einer Zeit waffenstarrender Kriegsbereitschaft, in der die Mittel für Werke des Friedens nur spärlich fließen, mehrere hunderttausend Mark vom Reiche für eine wissenschaftliche Reise verausgabt werden, so müssen es Aufgaben von großer Wichtigkeit sein, die es gilt zu lösen oder der Lösung näher zu bringen. Von einer planmäßigen Durchforschung der Tiefsee haben eine ganze Reihe naturwissenschaftlicher Disziplinen wesentliche Förderung zu erwarten; das weitgehendste Interesse aber hat der Zoologe, denn in den abyssalen Regionen begegnet er neben bekannten Gattungen vielfach ganz eigenartigen Tierformen, die den oberen Meeresschichten fremd sind.

Von alters her war das Meer und seine Tierwelt nur bis zu den Tiefen bekannt, bis zu denen der Gewerbebetrieb reichte. Seit drei Jahrtausenden fördern die Perlfischer die Muscheln des indischen Ozeans aus 12—15 m Tiefe empor, heben im Mittelmeer die Schwammfischer den Badeschwamm und andere mit ihm vergesellschaftet lebende Tiere aus 25—30 m. Die Auster gilt seit dem frühen Altertum als ein begehrenswerter Leckerbissen; man durchsuchte Tiefen bis zu 35 m, um sie zu erhalten. In weit tieferen Regionen arbeiten die Korallenfischer. Mit sehr einfachen Werkzeugen, die vielleicht seit der Zeit der Phönizier kaum merklich sich verändert haben, durchfischen sie die Küstengebiete des Mittelmeeres bis zu 200 m Tiefe. Mit ihren Netzen lösen sie nicht nur Bruchstücke von den Korallenstöcken ab, sondern fangen auch zahlreiche andere Tiere, die auf den Korallen leben, und so mancher Zoologe verdankt die Entdeckung seltener und eigentümlicher Formen, die unmittelbar an der Meeresoberfläche fehlen,

dem, was algerische oder sizilianische Korallenfischer mit ihren Netzen gehoben haben.

Über diese nur ganz mäßigen, durch den Gewerbebetrieb erschlossenen Meerestiefen hinaus blieb die Tierwelt unbekannt. Nur an wenigen Stellen fischte man seit langer Zeit tiefer. So fangen die Portugiesen in der Bai von Setúbal mit Grundangeln Centrophorus-Haie in mehr als 900 m Tiefe[1]); aber ein zusammenhängendes Bild von der Fauna der tieferen Regionen hatte man nicht gewonnen, und es blieb der freien Phantasie überlassen, sie mit Fabelwesen aller Art zu bevölkern. Die lebendige Schilderung, die Schiller in seiner bekannten Ballade giebt, ist sicher mehr als bloß eine ganz freie phantastische Erfindung des Dichters selbst, sie spiegelt die Auffassung wieder, die in weitesten, naturwissenschaftlich wenig gebildeten Kreisen über die Tiefen des Meeres herrschte. Auch über die verschiedenen Tierarten, die die Tiefe bevölkern, haben wir schon in frühen Jugendjahren uns Vorstellungen gebildet, die völlig unter dem Einflusse der dichterischen Darstellung der Verse standen:

Das Auge mit Schaudern hinunter sah,
Wie's von Salamandern und Molchen und Drachen
Sich regt' in dem furchtbaren Höllenrachen.

Freilich sollte uns schon im elementaren Naturgeschichtsunterricht eingeschärft werden, daß Salamander und Molche im Meere nicht vorkommen und daß es Drachen überhaupt nicht giebt. Schwerlich aber wird sich der Gesamteindruck des Gedichtes verwischen lassen, daß in den Meerestiefen eine ganz seltsam gestaltete, gefräßig lauernde Tierwelt herrscht.

Die wissenschaftliche Betrachtungsweise unseres Jahrhunderts nahm der Tiefsee die grotesken Fabeltiere, beließ ihr aber eine reiche Fauna, die in so manchen Merkmalen von der in höheren Schichten lebenden Tierwelt sich unterscheidet. Eine planmäßige Durchforschung der großen Meerestiefen hat zwar erst vor wenigen Jahrzehnten begonnen, die ersten zuverlässigen Tiefenfänge reichen aber vor die Mitte des 18. Jahrhunderts zurück[2]), und später hob im Jahre 1818 John Ross aus 1500—1830 m Tiefe des Polarmeeres eine Anzahl Würmer und Stachelhäuter.

Leider gerieten diese Thatsachen nur zu bald in Vergessenheit, und die anscheinend mit großer Umsicht ausgeführten Untersuchungen des englischen Zoologen Edward Forbes über die vertikale Verbreitung der Tierwelt im Meere führten zu ganz anderen Ergebnissen. 1843 berichtete Forbes der britischen Naturforscherversammlung zu Cork über seine Studien. So wie Humboldt an den Gebirgen übereinanderliegende Höhenzonen, die durch eine besondere Tier- und Pflanzenwelt gekennzeichnet sind, unterschieden hatte, so fand Forbes, daß beim Hinabsteigen in die Meerestiefe verschiedene faunistische Regionen sich feststellen lassen. Er unterschied deren acht; die letzte sollte zwischen 105 und 300 Faden liegen, also bis in eine Tiefe von 550 m hinabreichen und durch eine rasche Abnahme der lebenden Organismen ausgezeichnet sein. Unterhalb dieser Grenze schiene alles Leben erloschen, ein stiller toter Raum reiche bis zum Boden der Meere[3]). Wenn wir bedenken, daß das Weltmeer in seiner größten Ausdehnung Tiefen von mehreren tausend Metern bedeckt, daß stellenweise Abgründe sich finden, in die die höchsten Berge des Himalaya versenkt werden könnten, ohne sie auszufüllen, denn über ihren höchsten Spitzen würde noch immer eine Wasserschicht von 800 m[4]) lagern: so ergiebt sich uns als eine Folge der Forbes'schen Lehre[5]), daß nur ein verhältnismäßig kleiner oberflächlicher Teil der Meere von Organismen bewohnt ist, weitaus der größte aber kein Leben birgt. Diese riesigen unteren Wassermassen, die in etwa 550 m beginnen, stellen die eigentliche Tiefsee dar.

Daß auch in diesen Regionen tierisches Leben vorkommt, wiesen schon Forbes' Zeitgenossen, die skandinavischen Forscher Michael Sars und Lovén nach. An den steil ins Meer abfallenden Küsten Norwegens fanden sie die Tiefen auch unterhalb 550 m bis zum Meeresgrund bewohnt. Allerdings nahm die Zahl der Tiere in der Tiefe bedeutend ab.

So recht in Fluß kam aber doch erst die Erforschung der großen Meerestiefen, als man damit begann, Europa durch Kabel mit anderen Weltteilen zu verbinden. Wir finden hier den seltenen Fall, von gewissen Zweigen der Physik und Chemie abgesehen, daß rein wissenschaftliche Fragen durch bestimmte Bedürfnisse des

praktischen Lebens wesentliche Förderung erfahren. Wo sonst naturwissenschaftliche Theorie und Praxis des Lebens zu einander in Beziehung stehen, ist es in der Regel umgekehrt, und wir sehen heute die Ergebnisse früherer wissenschaftlicher Forschungen in unzähligen Formen praktisch verwertet.

Schon bei den vorbereitenden Lotungen für die Legung des ersten transatlantischen Kabels im Jahre 1857 ergab sich, daß die großen Tiefen des Ozeans von zahlreichen Organismen bevölkert werden, und auch im Mittelmeer machte man die gleichen Erfahrungen. Als 1861 das stellenweise in über 2500 m Tiefe ruhende Kabel, das Sardinien und Algerien, Cagliari und Bona verband, gehoben werden mußte, weil es an einer Stelle gerissen war, fand man es, obwohl es erst zwei Jahre am Meeresgrund geruht hatte, mit höchst eigenartigen Würmern, Schnecken, Muscheln und Korallen[6]) besetzt.

Damit war Forbes' Lehre, daß die großen Meerestiefen unbewohnt seien, endgültig widerlegt, und angeregt durch die eigentümlichen Formen, die aus der Tiefe gehoben worden waren, wandte sich das allgemeine zoologische Interesse der Tiefseefauna zu.

Die Erforschung der großen Meerestiefen erfordert aber einen reichen Aufwand an Instrumenten und Apparaten aller Art. Der Zoologe, der sich darauf beschränkt, die nahe der Oberfläche freischwebenden Organismen und die nur im seichten Küstenwasser festsitzenden Formen zu untersuchen, kann mit verhältnismäßig leichtem Gepäck an die See ziehen, auch wenn er ganz auf sich allein angewiesen ist und keine zoologische Station ihn gastfreundlich aufnimmt. Ein oder zwei kleinere, schmetterlingsnetzähnliche Schwebenetze aus Seidengaze zur Erbeutung des schwimmenden Planktons, eine Dredsche oder Scharrnetz für den Fang der am Meeresboden wohnenden Formen reichen als Fanggeräte im allgemeinen aus. Je tiefer man aber fischen will, desto komplizierter, größer und schwerer müssen die Apparate sein, namentlich die Dredschen und Grundnetze, die am tiefen Meeresboden arbeiten sollen. Die mittelgroßen Grundnetze, die auf der deutschen Tiefsee-Expedition mit Vorliebe angewendet wurden, besaßen eine Länge von etwa 10 m, der starke Eisenrahmen, an dem der Netz-

beutel hing, war $2^1/_2$ m weit und wurde überdies mit 50 kg beschwert, um ein rascheres Sinken herbeizuführen. Bedenkt man, daß diese Netze oft viele Zentner schwere Lasten vom Meeresgrunde zu heben haben, so erklärt es sich, daß statt der dicken, nur schwer zu lenkenden Hanfseile gegenwärtig fast allgemein Drahtseile bei der wissenschaftlichen Tiefseefischerei geführt werden[7]).

Um genau feststellen zu können, in welcher Tiefe die Tiere schwebend sich aufhalten, wendet man sinnreich eingerichtete Schließnetze an, die geschlossen ins Meer hinabgesenkt werden, in bestimmter Tiefe sich öffnen und beim Emporheben nach Durchfischung einer bestimmten Zone sich wieder schließen. Kurz, der für die Tiefsee erforderliche Apparat wird so umfangreich und schwerfällig, daß die Mittel des einzelnen Forschers nicht mehr ausreichen, um ihn beschaffen zu können. Dazu kommt, daß die Tiefseefischerei nicht auf jedem beliebigen Boote ausgeführt, sondern nur auf einem ansehnlichen Dampfer betrieben werden kann. Die schweren, mehrere tausend Meter langen Stahlkabel, an denen die großen Netze hängen, können nur von besonderen, durch Dampf getriebenen Winden gehoben werden, und im tiefen Meeresgrund kann das Schleppnetz nur von einem größeren Schiffe aus mit Sicherheit geführt und, wenn es mit Zentnerlasten beladen ist, richtig wieder emporgezogen werden.

Nicht immer ist streng darauf geachtet worden, daß eine bestimmte Schiffsgröße das Fischen nur bis zu einer bestimmten Tiefe gestattet. Auch ein kleines Schiff kann an und für sich vollkommen seetüchtig sein, selbst zu den weitesten Ozeanfahrten; sobald man aber in großen Tiefen mit schweren Netzen fischt, droht beim Herannahen eines Unwetters leicht Gefahr, wenn das Netz nicht rechtzeitig gehoben ist. Das ist freilich nicht immer möglich, denn aus größeren Tiefen läßt sich das Netz erst in einigen Stunden emporwinden[8]), und der Sturm kann bereits nach einer halben Stunde einsetzen. Dann bleibt nur übrig, das Seil rasch zu durchhauen, um das Fahrzeug frei zu machen und regieren zu können; Netz und Seil gehen dabei freilich verloren. Viele Unglücksfälle der Fischerfahrzeuge entstehen dadurch, daß die Netze

nicht früh genug gehoben oder aus Sorge über ihren Verlust nicht abgeschnitten wurden. Und auch der Untergang des schweizer Zoologen Fol, der am 13. März 1892 mit seinem eigenen kleinen Dampfer Havre verließ, um nach Durchfischung des Biskaischen Meerbusens ins Mittelmeer zu segeln, und seither verschollen ist, wird wohl durch einen ähnlichen Umstand herbeigeführt worden sein.

So erweist sich also die wissenschaftliche Untersuchung der großen Meerestiefen als ein so schwieriges Beginnen, daß staatliche Unterstützung eingreifen mußte, um sie zu fördern. Nachdem fast alle Kulturländer der Welt mehr oder minder reiche Summen aus staatlichen Fonds für wissenschaftliche Meeresuntersuchungen ausgeworfen hatten, mußte es uns mit besonderer Genugthuung erfüllen, als vor drei Jahren die deutsche Reichsregierung die Mittel für ein so großartiges und erfolgreiches wissenschaftliches Unternehmen, wie es die deutsche, von Chun geleitete Tiefsee-Expedition war, zu beschaffen wußte. Dem Zoologen sind nicht nur die zahlreichen neuen Tierarten von Wichtigkeit, die in allen von der Expedition bis zu fast 6000 m Tiefe durchforschten Wasserschichten sich fanden, und aufs neue schlagend die Allbewohnbarkeit des Weltmeeres erwiesen, sondern auch eine Reihe Schlußfolgerungen allgemeineren Inhalts, zu denen die neugewonnenen Thatsachen zu führen scheinen.

Wenn man früher im Widerspruch zu diesen Thatsachen eine beschränkte Verbreitung der Organismen im Meere annahm, so war es nicht bloß zufällig, sondern schien durch eine Reihe wichtiger Gründe bedingt, daß die unbelebten Regionen etwa in 550 m Tiefe beginnen müßten. Denn während in den oberen, vom Sonnenlicht durchleuchteten Schichten eine bunt wechselnde Mannigfaltigkeit der Lebensbedingungen herrscht, liegen die abyssalen Regionen in ewig starrer Gleichförmigkeit da.

Die Temperatur wird kälter, je weiter wir hinabsteigen, um bei 4000 m, oft noch früher, sich fast überall dem Nullpunkt nahe zu halten[9]. Während wir an der Meeresoberfläche in den verschiedenen Zonen gewaltigen Temperaturunterschieden begegnen, in den Tropen 32° C. Wärme[10], im Polarmeere 3° C. Kälte,

verschwinden in den großen Meerestiefen diese Gegensätze, und überall herrscht eisige Kälte.

So verhält es sich im großen offenen Weltmeer; im Mittelmeer aber ist die Temperaturabnahme nach der Tiefe zu eine ganz andere. Von etwa 1000 m an findet sich hier überall bis zu den beträchtlichen Tiefen von 4000 m, in denen im Ozean unter der gleichen geographischen Breite der Nullpunkt nahezu erreicht ist, die gleichmäßige Temperatur von etwas über 13° C.[11]). Diese entspricht der mittleren niedersten Wintertemperatur des mittelländischen Oberflächenwassers. Der Grund dieser Verschiedenheit von Ozean und Mittelmeer liegt darin, daß bei Gibraltar ein unterseeischer Höhenrücken sich stellenweise bis kaum 90 m unter den Meeresspiegel erhebt. Das kalte, vom Pole herströmende Unterwasser des Ozeans findet daher in das abgeschlossene Mittelmeerbecken keinen Eingang[12]).

Die geringe Wärme des Tiefseewassers kann an und für sich natürlich den Tieren den Aufenthalt nicht unmöglich machen, denn wir wissen, daß in den Polarmeeren bei einer Temperatur von einigen Graden unter Null stellenweise eine sehr reiche Fauna sich entwickelt hat. Sicher aber ist es, daß niemals typische Warmwasserformen, sondern immer nur solche Organismen in der Tiefe heimisch sein können, die an das kalte Wasser angepaßt sind; in ausgesprochenster Weise sind das die hochnordischen und im antarktischen Meere lebenden Tiere[13]).

Zu diesen wenig günstigen Temperaturverhältnissen treten noch eine Anzahl anderer physikalischer Existenzbedingungen, die, wie man meinte, die großen Tiefen für alle Organismen unbewohnbar gestalten sollten.

Schon der ungeheure Wasserdruck, der in der Tiefe herrscht, müßte, so glaubte man, jedes lebende Wesen vernichten. Mehrfach war beobachtet worden, daß die Instrumente, die in beträchtlicheren Tiefen angewendet worden waren, durch den Druck gelitten hatten. Die Korkscheiben am Eingang der Schleppnetzbeutel wurden auf den dritten Teil ihres Volumens zusammengepreßt und zeigten holzähnlich verdichtetes Gewebe. Hölzerne Gegenstände verdichteten sich auf ungefähr die Hälfte. Es sind daher

ganz besondere Einrichtungen notwendig, um die Tiefseethermometer und andere feinere Instrumente gegen den enormen Druck zu schützen und in der Tiefe gebrauchsfähig zu erhalten.

Der Druck, der in jeder beliebigen Tiefe herrscht, läßt sich ganz leicht berechnen, da unsere Gewichtseinheit, das Gramm, 1 ccm Wasser bei 4° C. entspricht. Wir gelangen zu einem für unsere Zwecke ausreichend genauen Ergebnis, auch wenn wir die Temperaturunterschiede und die nach der Tiefe zu allerdings nur sehr wenig merklich zunehmende Verdichtung des Wassers außer acht lassen und das etwas größere spezifische Gewicht des Seewassers nicht weiter in Rechnung ziehen. Dann beträgt der Bodendruck einer Wassersäule auf 1 qcm in 10 m Tiefe 1 kg, in 4000 m Tiefe 400 kg. Auf einer Bodenfläche von 1 qm lasten in der gleichen Tiefe 4000000 kg. Nimmt man die Oberfläche eines Menschen mit 2 qm an, so beträgt der gesamte Wasserdruck, der in 4000 m Tiefe auf ihn ausgeübt wird, 8000000 kg. Um von dieser gewaltigen Masse eine Vorstellung zu gewinnen, wollen wir zur Vergleichung das Gewicht eines Eisenbahnzuges heranziehen, der Lasten befördert. Beträgt das Gewicht eines Wagens 8000, seine Belastung 15000 kg, und wiegt eine Lokomotive mit ihrem Tender 64000 kg, so würden 10 Lastzüge, deren jeder aus 32 Wagen besteht, das Gewicht besitzen, das dem Wasserdruck entspricht, der in 4000 m Tiefe auf einem Menschen ausgeübt wird. In Wirklichkeit haben aber derartige Berechnungen nicht viel praktische Bedeutung, denn es handelt sich nicht um einen einseitig auf die Organismen der Tiefsee ausgeübten Druck, der sie vernichten könnte, sondern die Tiere leben allseitig umgeben und erfüllt von demselben durch den Druck der darüberliegenden Wasserschichten ein wenig verdichteten Medium. Da alle inneren Höhlungen des Tierkörpers und alle Gewebe Wasser von der gleichen Dichtigkeit führen, sind Druck und Gegendruck überall gleich, und es kann von der Möglichkeit, daß die Organismen zerpreßt würden, keine Rede sein. Es ist also nicht zutreffend, wenn man sich so ausdrückt, daß die Tiefseeorganismen diese oder jene Wasserlast »tragen« oder »schleppen« müssen, denn beim »Tragen« ist ein einseitig wirkender Druck vorhanden. Den Organismen, die an

jene Regionen angepaßt sind, wird sich der hohe Wasserdruck in keiner Weise störend bemerklich machen, und es können daher kleine Krebse am Boden des Weltmeeres mit ihren feinen zierlichen Beinen sonder Mühe ihre graziösen Sprünge ausführen[14].

Der enorme Wasserdruck, der in der Tiefe herrscht, äußert sich aber in auffälliger Weise, wenn die Tiefseetiere an die Oberfläche gelangen; besonders da macht er sich bemerkbar, wo im Inneren des Körpers allseitig abgeschlossene, mit Luft oder anderen Gasen erfüllte Räume sich finden. In der Tiefe sind diese auf ein geringes Volumen zusammengepreßt. Steigt das Tier in oberflächliche Schichten empor, so verringert sich der Druck, und die Gase dehnen sich so rasch aus, daß sie die umgebenden Gewebe zerreißen können. Eine solche Gefahr besteht für manche Fische in der Schwimmblase, wie die Beobachtungen lehren, die man schon längst an den die Tiefen der Alpenseen bewohnenden Süßwasserfischen gemacht hat[15].

Die aus den abyssischen Regionen des Meeres gehobenen Tiere leiden natürlich umsomehr, als die Druckverschiedenheiten bedeutend größer sind. Zarte Tiefseeorganismen, die Gasblasen enthielten, können buchstäblich zerfetzt an die Oberfläche gelangen; aber auch da, wo keine luftführenden Räume sich finden, kommen umfangreiche Zerreißungen vor, wenn die Gewebe den raschen Druckverschiedenheiten nicht schnell genug zu folgen vermögen. So erbeutet man Tiefseefische häufig mit hervorgetretenen Augen, mit ausgestülptem Schlund und Enddarm[16].

Es erinnert der Einwand, den man aus dem gewaltigen Wasserdruck gegen die Bewohnbarkeit der Meerestiefen hergeleitet hat, lebhaft an die Erörterungen, die sich an die Entdeckung des Luftdruckes auf unserer Erdoberfläche knüpften. So wie jeder Körper auf der Erde ist auch der menschliche dem Drucke der Atmosphäre unterworfen. Bei einer Oberfläche von 2 qm lastet auf einem Menschen, der nahe der Meereshöhe unter einem Barometerstand von 760 mm lebt, ein Druck von 20000 kg. Das scheint freilich auf den ersten Anblick recht unglaublich und dünkte früher selbst Männern der Wissenschaft, wie vielen Laien auch jetzt noch, so absurd, daß sie die ganze Lehre vom Luftdruck verwarfen.

So wenig wie wir den Luftdruck als ein Hindernis bei unseren Bewegungen spüren, da wir eben allseitig umgeben und zum Teil auch erfüllt sind von einer Luft, die unter dem gleichen Drucke steht, so wenig behindert die Tiefseetiere der Wasserdruck. Dagegen macht es sich auch uns zumeist recht empfindlich bemerkbar, wenn wir uns sehr starken Veränderungen des Luftdruckes, an den wir in unserer Organisation angepaßt sind, aussetzen und bei der Besteigung hoher Berge sehr verdünnte Luft aufsuchen. Verschiedene Individuen verhalten sich dabei sehr verschieden, und gar mancher empfindet in der gleichen Höhenregion nicht die geringsten Beschwerden, in der ein anderer unter drückenden Anzeichen der sogenannten Bergkrankheit leidet.

So wie die niedrige Temperatur und der hohe Druck die großen Meerestiefen den tierischen Organismen nicht unzugänglich machen, hindert auch nicht die chemische Beschaffenheit des Tiefenwassers, obwohl sie mancherlei Besonderheiten aufweist, die Entwicklung organischen Lebens. Die Luft, die den zur Atmung notwendigen Sauerstoff führt, fehlt keineswegs, wie man früher annahm, in der Tiefe. Sie findet sich vielmehr auch dort, wenngleich in etwas anderer chemischer Zusammensetzung und in geringerer Menge als an der Oberfläche[17]). Daß die oberflächlichen Wasserschichten sauerstoffreicher sind als die tieferen, erklärt sich zur Genüge daraus, daß nur in den oberen, vom Sonnenlicht durchleuchteten Regionen die grünen, Sauerstoff produzierenden Pflanzen vorkommen und hier auch die stete Möglichkeit besteht, daß das Oberflächenwasser aus der atmosphärischen Luft den Sauerstoff aufnimmt.

Gerade umgekehrt wie der Gehalt an Sauerstoff verhält sich der Überschuß an absorbierter Kohlensäure in zunehmender Tiefe. An der Oberfläche enthält der Liter Seewasser ungefähr 5 cg ganz gebundene Kohlensäure; ganz allmählich steigt der Gehalt, um freilich erst in nahezu 3000 m Tiefe 6 cg zu erreichen. So ansehnlich auch diese Menge ist, so dürfte sie allein wohl kaum ausreichend sein, um vielen Arten das Vordringen in die Tiefe unmöglich zu machen; andererseits aber bedingt sie doch, wenigstens zum Teil, gewisse Eigentümlichkeiten in der Organisation mancher Tiefseetiere.

Unter dem großen Druck, der in der Tiefe herrscht, löst die Kohlensäure im Seewasser den Kalk auf. Es finden sich daher in den größten abyssischen Tiefen oft nur spärliche Trümmer von Kalkschalen abgestorbener Tiere oder anderer kalkhaltigen Körper vor, und die Würmer und Foraminiferen, die sonst aus kalkigen Nadeln und Schalenstücken ihre Röhren und Gehäuse bauen, können dies hier häufig nicht mehr ausführen.

Die Kalkarmut des Tiefenwassers beeinflußt aber auch die Organisation der Tiere. Unter den Foraminiferen der Tiefsee finden sich oft Formen, deren Kalkschalen durch außerordentliche Zartheit auffallen, während die nächstverwandten Arten im seichten Wasser beträchtlich dickere Gehäuse entwickeln. Ebenso sind die Korallen und Moostierchen weniger stark mit Kalk durchsetzt, sie bilden schwächere Zweige und sind leichter zerbrechlich. Die Seeigel der abyssalen Regionen zeigen eine Neigung zur Beschränkung der Kalkplatten, und die Muscheln fallen oft durch ihre geringe Größe auf. Die Tiefseefische haben häufig spongiöse, lückenhafte Knochen, die an Kalksalzen verhältnismäßig arm sind, und bei den Tiefseecrustaceen kann man es geradezu als die Regel betrachten, daß der Kalkpanzer, der die oberflächlich lebenden Arten schützt, dünn wird und auch vollkommen schwindet.

Gerade umgekehrt verhält es sich mit den Kieselskeletten der Tiere. Die Tiefseeradiolarien sind zwar gewöhnlich kleiner als ihre in höheren Meeresschichten lebenden Verwandten, besitzen aber ein mächtigeres Kieselskelett. Die Lückenräume des Maschenwerks sind enger, die Balken dicker[18]).

So wie die Temperatur in den großen Meerestiefen keinem Wechsel unterliegt und das stets eiskalte Wasser an einen ewig währenden Winter mahnt, fehlt auch in jenen Regionen jeder erleuchtende Sonnenstrahl, es giebt keinen Wechsel von Tag und Nacht, und es herrscht stete Finsternis.

Bis zu welchen Tiefen ist nun das Meer erleuchtet, und wo beginnt die ewige Nacht? Diese Frage läßt sich nur durch experimentelle Untersuchungen beantworten. Die älteren Versuche wurden in höchst primitiver Weise in der Art ausgeführt, daß man große weiße Scheiben in das Meer senkte und feststellte, in welcher

Tiefe sie unsichtbar wurden. In neuerer Zeit verwendet man sehr stark lichtempfindliche photographische Platten. Das erfordert ganz besonders sinnreiche und gut arbeitende Apparate; denn selbstverständlich müssen die Platten in dichtverschlossenen Kästen ruhen, die keinem Lichtstrahl den Eintritt gestatten, bis sie sich in bestimmten Tiefen öffnen und die Exposition der Platte ermöglichen. Nachher muß der Apparat sich wieder schließen, damit in den oberen Schichten kein Strahl mehr wirksam sein könne.

Derartige Versuche wurden mehrfach angestellt, und, wie zu erwarten war, zeigte sich das Ergebnis sehr verschieden, je nach der Reinheit und Durchsichtigkeit des Wassers und je nachdem, ob an sonnenhellen oder trüben Tagen, ob des frühen Morgens, Abends oder Mittags exponiert wurde. Besonders auffallend aber waren weitgehende Unterschiede an verschiedenen Orten. An einem sonnenhellen Frühlingstag konnte man[19]) im Mittelmeer bei Nizza bis gegen 400 m Tiefe die chemische Einwirkung der Sonnenstrahlen nachweisen, und in 380 m fand man die Belichtung stärker als im Genfer See bei gleichem Sonnenstand in der halben Tiefe. Bei einer längeren Expositionszeit von einer halben Stunde — Fol und Sarasin hatten nur 10 Minuten lang die Platte ausgesetzt — erwiesen sich die Platten noch in 500—550 m Tiefe empfindlich, aber über 600 m dürfte wohl niemals ein Sonnenstrahl eindringen.

Man könnte meinen, daß bei diesen Versuchen, die Grenze des Vordringens des Sonnenlichtes im Meere auf photographischem Wege zu bestimmen, eine Fehlerquelle nicht auszuschließen sei. Die Platten können nämlich nicht in absoluter Finsternis hergestellt werden, sondern es geschieht dies bei einem rubinroten Lichtschimmer, der, so außerordentlich schwach er auch ist, doch hinreicht, um dem betreffenden Arbeiter das Sehen zu ermöglichen. Herrschte in der Tiefe die gleiche rote Beleuchtung, so wäre dort die Möglichkeit zu sehen vorhanden, aber die versenkten Platten könnten natürlich nicht erregt werden. Schiller spricht allerdings in seinem vorhin schon angezogenen Gedicht von der »purpurnen Finsternis«, die in den Meerestiefen sich ausbreiten soll. Wäre das wirklich der Fall, so würde wohl mancher darin eine prophetische

Ahnung des dichterischen Genius erblicken. Auch Al. Agassiz und Haeckel behaupteten, daß unterhalb 50 Faden beziehungsweise 150′ eine rotgelbe Dämmerung herrsche. In Wirklichkeit verhält es sich aber anders.

Ganz dünne Schichten Wasser erscheinen im auffallenden und durchfallenden Licht farblos weiß[20]. Aber schon bei 180 cm dicken Schichten läßt sich feststellen, daß nicht alle verschiedenfarbigen Strahlen mit gleicher Stärke das Wasser durchdringen. Das violette Licht geht fast ungeschwächt, mit 95,1 %, das rote dagegen nur mit halber Stärke, 49,3 % der Lichtquelle, hindurch. Die roten Strahlen werden also vom Wasser viel stärker absorbiert als die kurzwelligen des entgegengesetzten Spektrumendes, und dickere Wassermassen zeigen daher im durchfallenden Lichte blaue oder blaugrüne Farbe. Läßt man im blauen Tropenmeer große weiße Scheiben in die Tiefe sinken, so erscheinen sie zuerst grünlich, dann hellblau, dann immer dunkler, bis sie endlich im reflektierten Blau des Meeres unsichtbar verschwimmen. Taucht man im Meere bis etwa 30 m hinab, so erscheint einem alles in blauem Licht, nach dem Auftauchen aber sieht das an das Blau gewöhnte Auge infolge der Kontrastwirkung zunächst die Gegenstände in der Luft in rotem Schein[21].

Aus der Thatsache, daß das Wasser für die blauen Strahlen stärker durchdringbar ist als für die roten, erklärt sich auch die eigentümliche Beleuchtung, die der blauen Grotte auf Capri Weltruf verliehen hat. Die Grotte hat bekanntlich nur einen sehr kleinen Eingang über Wasser, nach unten aber verbreitert er sich und setzt sich weit in die Tiefe fort. Unter gewissen Bedingungen, die allerdings nicht alltäglich einzutreten pflegen, geschieht die Erleuchtung der Grotte hauptsächlich durch die Strahlen, die, von außen kommend, durch das blaue Meereswasser hindurchtreten. In diesen Strahlen fehlt, wie die spektroskopischen Untersuchungen[22] erwiesen haben, Rot gänzlich, Gelb ist erheblich verblaßt, und der Raum erscheint daher wie durch blaues Licht erhellt.

Verschieden von dieser wahren Farbe des Wassers im durchfallenden Licht ist das Aussehen des Meeres im reflektierten Licht, wenn wir vom Gestade oder vom Bord eines Schiffes aus auf

seine Oberfläche schauen. Wie wechselnd es uns dann erscheint, abhängig von Wolken, Wind und Sonnenlicht, ist niemandem, der nahe der Meeresküste wohnt, unbekannt. Es würde nicht schwer sein, aus den Gemälden unserer Künstler eine vollständige Farbenskala des Meeres zusammenzustellen, mit Rotgelb beginnend, mit tiefem Violett abschließend. Sicher ist, daß unsere Ostsee vorherrschend grün[23]), das Mittelmeer an sonnenhellen Tagen blau erscheinen[24]). So war es wohl stets, und es ist vielleicht nur Zufall, wenn Homer, der reiche Farbenbezeichnungen des Mittelmeeres führt, gerade Blau am seltensten nennt.

So müssen wir also annehmen, daß von etwa 30 m Tiefe an im Meere nur noch ein bläuliches Licht schimmert, das an Stärke immer mehr abnimmt, je mehr die Tiefe wächst. Zwischen 550 und 600 m hört jede Belichtung durch die Sonnenstrahlen auf. In diese Tiefe wurde die Grenze zwischen der oberen bewohnten und der toten abyssalen Meeresregion verlegt, weil man nur in den von der Sonne durchleuchteten Wasserschichten die Bedingungen für die Entwicklung organischen Lebens vorhanden glaubte. Das hat sich freilich als ein Irrtum erwiesen, und der immerwährende Lichtmangel schließt die Bewohnbarkeit der abyssalen Regionen nicht aus[25]). Keine andere Existenzbedingung der Tiefsee hat aber die gesamte Organisation und Lebensweise der Tierwelt so stark beeinflußt, wie das Fehlen von Sonnenlicht und Sonnenwärme.

Sehr auffallend macht sich dieser Einfluß in der Färbung der Tiefseetiere bemerkbar. Im blauen Licht erscheinen rote Gegenstände dunkel und schwerer wahrnehmbar. Rot ist also in den Tiefen des Meeres, die nur durch blaues Dämmerlicht erhellt werden, ebenso eine Schutzfarbe wie Schwarz. Daher ist in diesen Regionen die Färbung der Tiere vorherrschend rot oder schwarz, sehr selten blau oder bunt. Und das Gleiche gilt auch für die abyssalen Tiefen, die von der Sonne überhaupt nicht mehr getroffen werden; denn wenn dort unten besondere Lichtquellen sich entflammen, so verbreiten auch sie einen bläulichen Schein.

Durch rötlich und selbst blutrot gefärbte Arten sind fast alle größeren Tierklassen in der Tiefe vertreten. Am meisten fallen die

Scharen roter Cruster und Echinodermen auf, die bis in die tiefsten durchforschten Meeresregionen sich ausbreiten. Auch verschiedenartige rotglänzende Polypen leben festgeheftet am tiefen Meeresgrund. Viele dieser roten Tiefseetiere haben in den seichteren Meeresschichten nahe Verwandte, die völlig anders gefärbt erscheinen. Im Gegensatz zu den wirbellosen Tieren zeichnen sich die Tiefseefische in der Regel durch einen tiefdunklen, fast sammetschwarzen Ton aus [26]).

Während in allen diesen Fällen die Anpassung der Färbung an die eigenartigen Verhältnisse der Tiefe auf reiche Pigmentbildungen zurückzuführen ist, finden sich im genauen Gegensatze dazu auch Beispiele dafür, daß die Dunkelheit in der Tiefsee eine Pigmentarmut hervorruft, wie wir sie bei Höhlen- und Grottenbewohnern kennen. Außer einigen Fischen sind es vornehmlich Krebse, Würmer und Cephalopoden, die bleiche, farblose, oft auch fast durchsichtige Tiefseearten stellen [27]).

Zur Erklärung dieser eintönigen Färbungen der Tiefenformen werden die Schutzbedürfnisse allein kaum ausreichend sein. Als ein zweites Moment möchte vielleicht für die in fast nächtlicher Finsternis lebenden Tiere das hinzutreten, daß die geschlechtliche Zuchtwahl in den Tiefen des Ozeans nach anderen Merkmalen ihre Auslese trifft als in den sonnenhellen Regionen des Meeres, der Luft und des Landes. Hier ist sie ein wirksames Mittel für die Erhaltung glänzender Farben. In der Tiefe, wo die Tiere gar nicht oder nur unvollkommen sehen, wo sicher der Farbensinn nur wenig entwickelt sein kann, werden bei der geschlechtlichen Zuchtwahl die farbigen Zeichnungen der Tiere nur eine untergeordnete Bedeutung besitzen [28]).

Noch in einer anderen Richtung bestimmt die Dunkelheit die Organisation der Tiefseebewohner. Die Orientierung im Raum erfolgt bei den freibeweglichen Tieren hauptsächlich durch die Sehorgane. Fehlen diese oder wird ihr Gebrauch infolge der herrschenden Finsternis unmöglich oder erheblich eingeschränkt, so müssen andere Organisationseigentümlichkeiten auftreten, die den Verlust der Augen in irgendeiner Weise auszugleichen vermögen. Das ist in der That auch der Fall.

So wie wir im Dunklen, wenn das Auge versagt, durch Tasten mit den Händen den Weg zu finden wissen, übernehmen bei den Tiefseetieren bis zu einem gewissen Grade die Tastorgane die Leistungen des Sehapparates. Da aber die Tastorgane, die den gut sehenden Tieren in den oberen Wasserschichten zukommen, den erhöhten Ansprüchen in der dunklen Tiefe nicht genügen, sehen wir sie hier viel vollkommener sich entwickeln. Häufig treten bei den Tieren der Tiefsee ganz neue, zum Tasten dienende Organe auf.

Die Fische tragen häufig im Umkreise des Mundes lange fühlerartige Barteln, die zum Tasten dienen und vielleicht auch Geruchsorgane bergen. Auch an anderen Körperstellen gelangen derartige Fortsätze gelegentlich zur Entwicklung[29]).

Eine ganz besonders mächtige Ausbildung erlangen die Tastwerkzeuge bei den Krebsen und Würmen der Tiefsee. In der Regel sind es die Fühler, die eine bedeutende, die gesamte Körperlänge oft erheblich übertreffende Streckung erfahren. Eines der auffallendsten Beispiele hierfür bietet uns der rotgefärbte *Nematocarcinus gracilipes* aus der Familie der Garneelen, der noch in sehr beträchtlichen Tiefen, wie es scheint, immer dicht über dem Meeresboden lebt. Die außerordentlich zarten, fadenförmigen Antennen sind 3—4mal so lang wie der Leib. Im Mittelmeer fischte Chun mit dem Schließnetze zwischen 800 und 1200 m den *Sergestes magnificus*, dessen Antennen, bei einer Körperlänge von 38 mm, 115 mm messen und mit Borsten und Wimpern besetzt sind, um die Empfindlichkeit des Organs zu steigern. Merkwürdig ist auch ein anderer zehnfüßiger Krebs, der *Galathodes Antonii*, der bis in die Tiefe von 4200 m hinabsteigt; merkwürdig, weil bei ihm die Streckung der Fühler mit einer Rückbildung der Augen verbunden ist, während der *Ptychogaster formosus* aus etwa 950 m Tiefe nur kurze Antennen, aber wohlentwickelte Augen besitzt[30]).

In den Tiefen des Mittelmeers, zwischen 500 und 1300 m, finden sich einige zur Gattung *Tomopteris* gehörende, freischwimmend und räuberisch lebende Ringelwürmer. Gelegentlich steigen sie bis zur Oberfläche empor und besitzen daher Augen, die in der großen Tiefe ihnen freilich wohl nur geringen Vorteil bieten dürften. Gleich-

zeitig aber tragen sie am Kopfe mächtige, den langgestreckten Leib noch an Größe überragende Fühler, die im Dunkel der Tiefe von großem Nutzen sein müssen.

Bei vielen Tiefseecrustern sind nicht nur die Fühler zu Tastorganen ausgebildet, sondern Spürhaare und Tastborsten sitzen auch an anderen Körperstellen, an den Extremitäten und Mundwerkzeugen (*Arachnomysis*); so kommt hier dem ganzen Körper ein erhöhtes Tastvermögen zu, und auch im Tiefendunkel ist es den Tieren möglich, gewandte Bewegungen auszuführen.

Auch die Umbildung mancher Extremitäten zu mächtigen Raubfüßen oder zu langen, Phalangidenbeinen ähnlichen Gebilden wird man auf die Anpassung an das dunkle Tiefenleben zurückführen müssen. Die ebengenannten Crustaceenarten bieten uns auch dafür Belege. Bei *Nematoscelis* ist das zweite, bei *Stylocheiron* das dritte Beinpaar außerordentlich stark verlängert und zu einer gefährlichen Waffe umgeformt. Einzelne Beine des *Nematocarcinus* übertreffen die Körperlänge und sind an den Enden mit Büscheln von Borsten besetzt.

Der *Ptychogaster*, den wir bei gut ausgebildeten Augen nur mit kleinen Antennen versehen fanden, hat ein riesig entwickeltes erstes Beinpaar, mit dem er auch im Dunklen seine Beute zu finden und aus Löchern und Ritzen hervorzuziehen weiß[31]).

Strenggenommen ist es aber doch nicht ganz zutreffend, daß die großen Meerestiefen, wenn auch kein Sonnenstrahl mehr in sie eindringt, immerwährend und ohne Ausnahme in völliger Finsternis daliegen. Denn sonst wäre es unverständlich, wie sich in der Tiefsee neben blinden Formen sehende finden könnten[32]), die häufig durch die ganz bedeutende Größe der Augen sofort auffallen. Diese Thatsache läßt sich nur dann verstehen, wenn die abyssischen Tiefen trotz des Fehlens leuchtender Sonnenstrahlen durch andere Lichtquellen erhellt werden.

Als eine solche Lichtquelle hat man schon vor längerer Zeit das Leuchtvermögen der Tiefseetiere betrachtet. Wer sich zur Sommerszeit länger an der Nordseeküste oder auf Helgoland aufgehalten hat, wird vielleicht zu wiederholten Malen Meerleuchten beobachtet haben. Es wird da durch einen etwa 1 mm großen kugligen

einzelligen Organismus, die *Noctiluca miliaris*, verursacht, die zu Milliarden an der Meeresoberfläche schwimmt. Das Leuchten beruht auf einem chemisch-physiologischen Vorgang im lebenden Protoplasma der Zelle und wird wohl bedingt durch die Sauerstoffaufnahme. Nicht immer ist es die *Noctiluca*, die das Meerleuchten hervorruft. Aus allen Klassen des Tierreichs kennen wir Formen, denen dieses Vermögen zukommt, und die höheren, verwickelter gebauten Tiere besitzen besondere Organe, die das Licht ausstrahlen. Sehr farbenprächtig gestaltet sich das Meerleuchten in den warmen tropischen und subtropischen Meeren, so hell leuchtend, daß im Scheine der glänzenden Meeresoberfläche an Bord des Schiffes der kleinste Druck deutlich lesbar wird.

Auch in der Tiefe fehlt es nicht an leuchtenden Tieren aller Art. Viele Formen, die das Leuchten an der Meeresoberfläche hervorrufen, haben ihren ständigen Wohnort in Tiefen zwischen 200 und 400 m und steigen nur gelegentlich bis zum Meeresspiegel empor. Fischt man des Nachts in diesen Tiefen, so hebt man das Netz erfüllt von tausenden glühender Fünkchen. In den abyssalen Regionen wächst die Zahl der leuchtenden Formen. Hier finden sich zeitlebens festgeheftet am Meeresgrund lebhaft phosphorescierende Rindenkorallen, stark bläulich leuchtende Seefedern. Hier leben zahlreiche leuchtende Würmer und Protozoen, prächtig glühende Seesterne (*Brisinga*) und Cephalopoden.

Von besonderer Wichtigkeit sind aber die eigenartigen Leuchtorgane, die sich bei vielen Fischen und Krebsen der Tiefsee herausgebildet haben und die den nächstverwandten Oberflächenformen noch fehlen. In beiden Gruppen können diese Organe entweder an den verschiedensten Stellen des Rumpfes oder Hinterleibes, oft in sehr großer Anzahl über den ganzen Körper verteilt vorkommen, oder sie sitzen am Kopf. Beide Formen der Leuchtorgane finden sich oft gleichzeitig nebeneinander vor. Sie sind von ganz besonderem Interesse, denn die vergleichend anatomische Betrachtung gewisser Gruppen der Crustaceen lehrt uns in einer überzeugenden Weise, wie diese Gebilde allmählich entstanden sind in Anpassung an das Leben in der Tiefsee und im Zusammenhange mit bestimmten Veränderungen der Sehorgane selbst[33]). Auch bei den Fischen

besteht zuweilen eine derartige Wechselbeziehung der Seh- und Leuchtorgane, und wir kennen eine blinde Tiefseeform, bei der die überaus mächtige Entwicklung der Leuchtapparate die Augen zur vollständigen Rückbildung gezwungen hat (*Ipnops*)[34].

Im allgemeinen sind die Leuchtorgane bei den Krebsen und auch vielen Fischen so gebaut, daß sie wie Blendlaternen das Licht nur in einer bestimmten Richtung werfen, und die Augen sind so gestellt, daß sie gerade die beleuchteten Gegenstände wahrnehmen. So wie Laternen und Fackeln erhellen jene Organe, wenn sie in Thätigkeit treten, das Dunkel des tiefen Ozeans, um ihren Trägern den Weg zu weisen und die Beutetiere zu zeigen, die ihnen zur Nahrung dienen sollen. Ähnlich wie die nächtlichen Fischer durch den Schein ihrer Laternen die Fische auch aus tieferen Schichten an die Oberfläche führen, um sie in ihren Netzen zu fangen, dient das ausstrahlende Licht der Leuchtorgane auch dazu, andere Tiere anzulocken; es erhellt also nicht nur dem eigenen Tier, sondern auch allen anderen, die sehen können, die Bahnen.

Wenn nun in der That die mächtig entwickelten Sehorgane vieler Tiere uns bezeugen, daß die abyssischen Regionen nicht stets in ewiger Nacht daliegen, so scheint es auf der anderen Seite auffallend, fast unerklärbar, daß überhaupt solche blinde Formen am Meeresgrunde vorkommen, deren Nahverwandte in der Höhe wohlentwickelte Augen besitzen. Offenbar sind die Sehorgane bei dem Vordringen dieser Arten in die Tiefe rückgebildet worden. Wir kennen für eine solche allmählich erfolgende stufenweise Rückbildung und Umbildung des Auges eine Reihe überzeugender Beispiele; das auffallendste vielleicht bietet eine Krabbe dar, die *Ethusa granulata.* Die im flachen Wasser vorkommenden Tiere haben auf den wohlentwickelten Augenstielen gut sehende Augen. Individuen aus etwa 200—675 m Tiefe tragen zwar noch bewegliche Augenstiele, aber das Sehorgan selbst ist mehr oder minder weit rückgebildet, und in 900 bis etwa 1300 m sind auch die beweglichen Stiele zu einem festen Stirnstachel verschmolzen, und die Tiere sind vollkommen blind[35].

Warum aber geschah denn die Rückbildung der Augen, wenn die Tiefe nicht absolut finster ist und zahlreiche sehende Formen

beherbergt? Wir finden, daß die Sehorgane der von der Oberfläche in die Tiefe hinabsteigenden Arten eine Weiterentwicklung nach zwei verschiedenen Richtungen hin einschlagen. Entweder erlangen sie eine besondere Größe oder sie gehen verloren, und es bilden sich blinde Formen aus. Gegenüber der in den oberen Schichten herrschenden Lichtmenge der Sonnenstrahlen ist die Erhellung durch die Leuchtorgane nur eine verschwindend geringe. Die normalen Augen der Oberflächentiere reichen nicht aus, um bei dieser düsteren Beleuchtung genügend scharf sehen zu können. Sind sie nicht imstande, sich zu besser sehenden großen Dunkelaugen zu entwickeln, wie es besonders bei rasch und gewandt sich bewegenden Tieren der Fall sein muß, so werden sie in der Tiefe wertlos und können leicht der Rückbildung verfallen [36].

Was bedeuten aber wohlentwickelte Leuchtorgane für blinde Tiere? Es mag vielleicht sein, daß das ausstrahlende Licht auf manche kleinere Tiere so wirkt wie Schreckfärbung, sodaß diese von den blinden Leuchttieren ergriffen werden können, während sie sonst entfliehen würden; auch ist es sicher, daß viele Organismen durch das Licht herbeigelockt werden. Im allgemeinen dürfen wir aber wohl annehmen, daß augenlosen Formen nur dann das Leuchtvermögen von Nutzen sein kann, wenn, wie wir bereits erfahren haben, andere Organe sich entwickeln, die bis zu einem gewissen Grade das Sehorgan zu ersetzen vermögen. Jedenfalls haben die eigentümlichen Lichtverhältnisse, die in der Tiefe herrschen, durchaus nicht auf alle Tiere in dem gleichen Sinne verändernd eingewirkt. Nicht nur im System weit voneinander entfernte Arten passen sich in verschiedener Weise an, sondern auch ganz nahverwandte verändern sich unter dem Einfluß der Dunkelheit erheblich abweichend. Andererseits läßt sich aber auch feststellen, daß die finstere Tiefsee bei gewissen Arten, gleichgültig ob sie im natürlichen System einander nah oder fern stehen, die gleichen Veränderungen der Organisation hervorruft und festhält.

Schon die wenigen eben mitgeteilten Beispiele haben uns gezeigt, wie die Tiefsee durch Einwanderung von den oberen Schichten her bevölkert wird. Überall, in allen geographischen Breiten, erfolgte die Einwanderung, und auch aus dem warmen tropischen und

subtropischen Oberflächenwasser sind Arten in die kalte Tiefe gegangen. Leichter konnten sich allerdings die in den kalten arktischen und antarktischen Meeren lebenden Flachwasserformen an die Lebensbedingungen der abyssalen Regionen anpassen. Wir haben auch erfahren, daß die Einwanderung von Oberflächentieren in die Tiefe so wie jetzt auch zu verschiedenen früheren geologischen Zeitaltern stattgefunden hat, und daraus folgt, daß die Tiefenfauna ebensowenig einen durchaus einheitlichen Charakter zeigen kann wie die der oberflächlichen Schichten.

Als die ersten Tiefseefunde aus verschiedenen Stellen des Ozeans untersucht waren und ein ungefährer Überblick über die Beschaffenheit und Zusammensetzung der abyssalen Fauna bereits gewonnen zu sein schien, da glaubte man freilich, daß die Tierwelt der Tiefsee vorwiegend einen ganz altertümlichen Charakter zeige und »an die längst verklungenen Perioden unserer Erdgeschichte erinnere«. In den Tiefen des Ozeans sollten sich Vertreter nicht nur des mesozoischen Zeitalters, der Kreide, des Juras und der Trias, sondern auch der uralten paläozoischen Perioden unverändert erhalten haben. Diese Formen sollten aus den oberen Meeresschichten sich zurückgezogen haben, um dem härteren Kampf ums Dasein, der in den sonnendurchleuchteten Regionen herrscht, auszuweichen und, durch die Dunkelheit geschützt, bei einförmigen, kaum wechselnden äußeren Lebensbedingungen die uralte Organisation bewahren zu können, während ihre Nachkommen, die im seichten Wasser blieben, ausstarben oder vielleicht zu ganz neuen Arten allmählich sich umwandelten. So finden wir vielfach auch jetzt noch die Meinung vertreten, daß im großen Ganzen unsere Tiefseefauna der Tierwelt der Kreide- und Jurazeit näher stehe als den gegenwärtig in den oberen Meeresschichten lebenden Formen. Die Tiefenfunde aus den zwei Tierstämmen der Schwämme und Stachelhäuter waren es vornehmlich, die eine derartige Auffassung zu rechtfertigen schienen[37].

Es läßt sich nicht bestreiten, daß zahlreiche Tiefseeformen alten paläontologischen Arten nahe stehen oder auch gleichen. Aber es gilt das durchaus nicht für die Mehrzahl, sondern nur für eine verhältnismäßig geringe Anzahl, und es ist daher nicht gerechtfertigt,

zu behaupten, daß die gesamte Fauna der abyssalen Regionen eine altertümliche sei und der mesozoischen Periode näher stünde als den rezenten Formen in den weniger tiefen Meeresschichten. Wir brauchen nur Umschau zu halten, um überall sehr alte Tiertypen nachweisen zu können.

In den oberen Meeresschichten leben manche Mollusken und molluskenähnliche Gattungen, die seit uralter Zeit, viele Millionen Jahre bevor die in den Steinkohlen erhaltenen vorweltlichen Pflanzen grünten, bis zur Gegenwart fast unverändert geblieben sind und die unter allen lebenden Tieren am meisten den Namen »lebende Fossile« verdienen[38]).

Auch im Süßwasser fehlt es nicht an Fischen[39]) mit altertümlichen Kennzeichen, und auf dem festen Lande[40]) begegnen wir zahlreichen Gattungen, die alten paläontologischen Formen aufs nächste verwandt oder gar mit ihnen identisch sind. Manche treten, in nur unwesentlichen Zügen verändert, bereits in der Steinkohlenformation auf. Welch ein gewaltiger Wechsel vollzog sich in diesen Jahrmillionen in der Pflanzenwelt, während gewisse kleine Insekten, Spinnen und Schnecken sich fast gleich geblieben sind und auf unseren niederen Gräsern umherkriechen wie auf den gigantischen Farnen des Steinkohlenzeitalters. Wir erinnern uns hier auch jener Säugetiere, die, wie Gürteltier und Faultier, zu nunmehr ausgestorbenen Arten in innigster verwandtschaftlicher Beziehung stehen und den Eindruck gewissermaßen fossiler Wesen machen. Und auch die Elephanten nehmen sich inmitten unserer Säugetierwelt fast fremd aus; sie bilden die einzige überlebende Gattung der in der Tertiärzeit, vielleicht noch vor 150000 Jahren weit verbreiteten, jetzt fast ausgestorbenen Gruppe der Rüsseltiere.

So sehen wir also überall, in seichten und mitteltiefen Meeresschichten, im Süßwasser und auf dem festen Lande, ursprüngliche altertümliche Gattungen erhalten, und es wäre geradezu seltsam, wenn sie nur in der Tiefe fehlten. Erwägt man dies, so wird man sich fragen müssen, wie denn überhaupt der Tiefenfauna ein ausgesprochener altertümlicher Charakter als das bestimmende Merkmal zuerkannt werden konnte. Schon die ersten Schleppnetzzüge förderten aus den großen Tiefen nicht nur fremd und absonderlich

gestaltete Tierarten, sondern zahlreicher noch solche zu Tage, die sich in bereits bekannte Gattungen leicht einordnen ließen oder gar mit bekannten Arten identisch waren. Aber es ist leicht begreiflich, daß gerade die aberranten Formen und namentlich diejenigen, welche auf fossile hinwiesen, gleich in den ersten Berichten hervorgehoben und auch weiterhin als Funde von ganz besonderer Wichtigkeit in den Vordergrund des Interesses gestellt wurden. Daher entstand von allem Anfang an ein falsches Bild von der wirklichen Zusammensetzung der Tiefseefauna.

So hätten wir denn in letzter Linie die gesamte Tierwelt der Tiefsee auf ursprünglich oberflächlich lebende Organismen zurückgeführt, die von alters her und auch jetzt noch immer wieder in die Tiefe hinabsteigen. Bei den mehr gleichartigen und selbst im Laufe langer Zeiträume nur wenig sich verändernden Lebensbedingungen vollzieht sich am tiefen Meeresgrund die weitere Umwandlung solcher Arten, die einmal an die eigentümlichen Verhältnisse der Tiefe angepaßt sind, sicher viel langsamer als an der Oberfläche oder im seichten Wasser. Wir werden daher unter den Tiefseetieren der Gegenwart viele Gattungen und auch Arten antreffen müssen, die seit sehr langen Zeiten Bewohner der tiefen Regionen und seither unverändert geblieben sind, aber wir werden nicht erwarten dürfen, dort den ältesten und ursprünglichsten tierischen Formen zu begegnen.

Auch die Entstehung des Lebens, die Bildung der ersten Organismen aus anorganischen Substanzen werden wir nicht am Grunde der tiefen Meere zu suchen haben, wo tiefe Dunkelheit sich ausbreitet, wo kein belebender Sonnenstrahl spielt und wo gleichmäßig eine dem Nullpunkt nahe Temperatur herrscht. Schwerlich wird sich die Urzeugung anders als unter dem Einfluß des leuchtenden wärmenden Sonnenlichtes vollzogen haben.

Wenn man den freilich auch jetzt noch so dunklen Vorgang des Werdens des Lebens in die abyssalen Tiefen verlegte, so stand man, vielleicht unbewußt, unter dem Einfluß der Auffassung, daß in jenen Regionen geheimnisvolle und von den bekannten Erscheinungen verschiedene Prozesse sich abspielen müßten. Nur eine kurze Reihe Jahre ist es her, daß man in den phantastischen, auf

keine einzige Thatsache sich gründenden Spekulationen Okens über den Urschleim des Meeres die prophetische Ahnung einer großen Wahrheit erblicken konnte.

Ein Wesen höchst seltsamer Art, der *Bathybius*, war es, der, aus den Tiefen des Ozeans stammend, jene Urschleimhypothese bewahrheiten sollte. Dieser *Bathybius* wurde 1857 bei den Vorarbeiten für die Legung des transatlantischen Kabels vom Grunde des Ozeans gehoben und später von dem englischen Zoologen Huxley zuerst beschrieben. Bald fand man ihn in ungeheurer Menge im Ozean und Mittelmeer in allen Tiefen als einen schleimartigen Überzug des Meeresbodens und oft auch der auf ihm lebenden Organismen. Der einzelne *Bathybius* stellt ein kleines, oft mit dem bloßen Auge überhaupt nicht sichtbares, meist netzförmiges Körperchen dar und besteht aus einer schleimigen Substanz, die man als kernloses Protoplasma auffaßte. Besonders Haeckel versuchte darzuthun, daß die schleimigen Körper »sich an Ort und Stelle unter dem Einflusse der eigentümlichen hier waltenden Existenzbedingungen aus anorganischer Substanz bilden; mit anderen Worten, daß sie durch Urzeugung entstehen«.

Okens theoretischer Urschleim schien also thatsächlich gefunden, die Urzeugung erwiesen zu sein. Leider aber war die Existenz des *Bathybius* nur von kurzer Dauer, denn schon auf der Challenger-Expedition gelang dem Chemiker Buchanan der Nachweis, daß der vermeintliche *Bathybius* ein weißer feinflockiger, nur in seiner Form an lebendige Substanz erinnernder Niederschlag von schwefelsaurem Kalk (Gips) ist, der dadurch entsteht, daß Seewasser mit Alkohol vermischt wird. Die verschiedenen Einschlüsse, die als Coccolithen, Discolithen, Cyatholithen, Coccosphären bezeichnet und als Stoffwechselprodukte des lebenden *Bathybius* aufgefaßt wurden, sind Fremdkörper, zum Teil Kalkalgen. Es fällt nicht schwer, in wenigen Minuten »*Bathybius*« zu bereiten und den Nachweis zu führen, daß dieser lediglich ein Kunstprodukt ist.

Die Durchforschung des Meeres mit Dredsche, Schwebnetz und Schließnetz hat uns die Thatsache erwiesen, daß zwar in den großen Tiefen die Tierwelt immer ärmer und spärlicher wird, daß

aber doch nirgends von der Oberfläche bis zum Meeresgrund eine ganz unbewohnte leblose Wasserschicht vorkommt, und wir haben uns schließlich noch zu fragen, in welcher Weise die Ernährung der Tiefseetiere erfolgt. In letzter Linie ist das gesamte Tierreich auf die Ernährung durch Pflanzen angewiesen. Denn diese allein vermögen aus binären anorganischen Substanzen die höheren organischen Verbindungen aufzubauen, während das Tier außer Wasser und gewissen Salzen stets einer organischen Nahrung bedarf.

Im Meere nun findet sich die lebendige pflanzliche Urnahrung ausschließlich in den oberen Schichten; unterhalb 200 m wird sie sehr spärlich, und bei 400 m dürfte wohl die tiefste Grenze des Vordringens der lebenden assimilierenden Pflanzen liegen.

Aus dieser beschränkten Verbreitung der Pflanzen im Meere ergiebt sich ohne weiteres, daß die Tiere nur in den oberen Regionen stets zu einer reichen vegetabilischen Kost Gelegenheit haben, in der Tiefe aber vorwiegend auf animale Speise angewiesen sind. Bei dem Fehlen der organische Substanz produzierenden Pflanzen würde in der Tiefe bald Nahrungsmangel eintreten, wenn nicht die oberen Meeresschichten eine nie versiegende Nährquelle darböten. Wären die Tiefseetiere nur aufeinander angewiesen, so müßten die abyssalen Regionen längst unbewohnt und leer sein.

Die meisten freischwimmend in großen Meerestiefen lebenden Tiere bleiben wohl niemals unausgesetzt dauernd in diesen Regionen, sondern fast alle steigen gelegentlich 500—600 m, zuweilen auch 200 m unter den Wasserspiegel empor. Sie gelangen so bis in die von Pflanzen bewohnten Regionen oder doch wenigstens in deren Nähe, wo eine reichere pelagische Tierwelt zwischen den in die Tiefe gesunkenen, noch wenig veränderten pflanzlichen Organismen schwebt. Hier finden sie zu allen Zeiten beliebige Nahrung und gesättigt kehren sie in die Tiefe zurück.

Die am Meeresboden festgehefteten oder kriechenden Tiere können natürlich derartige Wanderungen nicht unternehmen, und auch viele der nahe dem Meeresgrund sich tummelnden Formen werden nicht so weit emporsteigen, um in die lichten pflanzenreichen Regionen zu gelangen. Sie alle bleiben auf die Nahrung angewiesen, die in der Tiefsee selbst sich findet, und namentlich die von der

Oberfläche zurückkehrenden Tiere werden den größeren und stärkeren eine willkommene Beute sein und so dazu beitragen, daß die reiche Nahrung der höheren Wasserschichten in veränderter Form in die Tiefe gelangt.

Wie man aber schon lange weiß, fließt noch auf einem anderen direkteren Wege, indem die abgestorbenen Organismen der oberen Schichten allmählich hinabsinken, unausgesetzt eine reiche Nahrungsmenge in die Tiefe. Bei dem raschen Vergehen der kleinen Planktonorganismen, bei der raschen Fortpflanzung und steten Erneuerung der Individuen müssen ihre Leichen wie Tropfen eines immerwährenden Regens auf den Boden des Meeres niederrieseln. Freilich ist der Weg, den sie zu durchmessen haben, weit, und bei der Langsamkeit, mit der der Fall in die Tiefe erfolgt, die Zeit lang. Um etwa 4000 m zu fallen, werden wohl selbst die meisten größeren Planktontiere mehrere Tage benötigen, und Wochen dürften vergehen, bevor die kleinen, mit besonderen Schwebeapparaten versehenen Organismen[41]) am Grunde anlangen. Natürlich werden sie dabei nicht immer den Weg senkrecht nach unten einhalten können, sondern, von den Strömungen erfaßt und getragen, werden sie weite unregelmäßige Bahnen beschreiben und in entferntere Orte geführt werden müssen, bis sie endlich zu Boden sinken.

Während der langen weiten Reise zum Meeresgrund verändern sich, trotz der geringen, den Verwesungsprozess aufhaltenden Wassertemperatur, die meisten der abgestorbenen Organismen recht erheblich, und vielfach gelangen nur die festen Schalen, Gehäuse und Skelette zu Boden, während die protoplasmatischen und fleischigen Teile schon früher aufgelöst oder von anderen Tieren verzehrt wurden[42]).

In den nördlichen und südlichen polaren Meeren bilden zu bestimmten Jahreszeiten niedere einzellige Pflanzen, die Diatomeen, die Hauptmasse aller schwebenden Tiere an der Oberfläche. Ihre Kieselpanzer lagern sich zum Teil vollkommen erhalten und unverändert am Meeresboden ab und bilden den Diatomeenschlamm. Im Laufe langer Zeiträume haben sich die Kieselschalen in den bis zu 4000 m reichenden Tiefen zu enormen Mengen angesammelt, um mächtige Gesteinsbänke einer kieseligen Masse darzustellen.

Da, wo Radiolarien im Wasser schweben, lagern sich deren Kieselskelette am Meeresboden ab zur Bildung des Radiolarienschlammes. Mehr oder minder verändert, oft auch in allen Teilen tadellos erhalten, ruhen die zierlichen Skelette namentlich in den tropischen Regionen des Stillen Ozeans in Tiefen von 4000 bis über 8000 m.

In allen Tiefen, zumeist der wärmeren Meere, schwebend oder an Pflanzen und auf dem Grunde kriechend, leben die Foraminiferen, eine Gruppe der Protozoen, die durch eine kalkige Schale ausgezeichnet ist. Die Gehäuse der abgestorbenen Tiere werden am Meeresboden abgelagert und zuweilen in solchen Mengen, daß 1 g des Foraminiferensandes über 50 000 Schalen enthält. In fast allen Meeren, von etwa 500 m an bis zu Tiefen von über 5000 m, findet man diese Ablagerungen als Globigerinenschlamm.

Ein großer Teil der Foraminiferenschalen wird aber so wie auch andere kalkige Bildungen durch die reiche Kohlensäure des Tiefenwassers aufgelöst und giebt dann einen wichtigen Bestandteil des roten Thones ab, der den abyssalen Regionen unterhalb 4000 oder 5000 m in allen Meeren eigentümlich ist.

So sehen wir denn, wie zwischen den großen dunklen Meerestiefen und den oberen durchlichteten Regionen ein inniger Zusammenhang besteht und wie die Organismen der Oberfläche den ganzen Charakter der Fauna der Tiefsee und selbst die Beschaffenheit des Meeresbodens beeinflussen, ja wesentlich bestimmen. Da die Ernährung in der Tiefsee in letzter Linie von den in den oberen Schichten schwebenden Organismen abhängig ist, kann die Tierwelt in den abyssischen Regionen um so üppiger sich entfalten, je reicher jene vorhanden sind. Es erscheint uns daher der Meeresboden und die auf ihm sich entwickelnde Tierwelt in gewissem Sinne als ein Spiegelbild der oberen Meeresschichten. Denn alles, was oben im Spiel der Wellen und im Sonnenlicht lebt und vegetiert, muß endlich doch noch in irgend einer Form zur Tiefe gelangen, um in der dunklen, von keiner Welle erregten Riesengrabstätte des Meeresgrundes den Kreislauf des Stoffes zu vollenden.





Anmerkungen.

1) Gelegentlich scheint der *Centrophorus* aus noch beträchtlicherer Tiefe von 1200 und sogar 1500 m gehoben worden zu sein. Auch dürfte es den Fischern aus ihrer Berufsthätigkeit bekannt gewesen sein, dass manche Macruriden, *Macrurus* und *Lepidoleprus*, in Tiefen zwischen 1000 und mehr als 2000 m leben. Zuweilen wurden auch mit den Grundangeln andere Tiere emporgezogen; so z. B. Hexaktinelliden-Schwämme: die *Holtenia*, die als Nest einer unbekannten Tierart betrachtet wurde, und Stücke der prächtigen Kieselskelette eines anderen Glasschwammes, der *Hyalonema.*

2) Diese ältesten Tiefenfänge im 18. Jahrhundert erstrecken sich auf etwa 430 m. Mit der Lotleine brachte Adriaanz nahe der grönländischen Küste zwei prächtige, mehr als meterlange Korallenstöcke empor, die später Lamarck als *Umbellula groenlandica* anführte, und an den Westindischen Inseln fing man wohl schon zu Anfang des 18. Jahrhunderts in größeren Tiefen gestielte Crinoiden (*Pentacrinus asterias L.*), deren nächste Verwandte nur als Fossile bekannt waren.

Unter den von Ross gefischten Echinodermen erschien besonders das sog. Medusenhaupt, eine durch verzweigte Arme ausgezeichnete Ophiuride, *Astrophyton Linckii*, bemerkenswert, weil man sie bisher nur aus wärmeren Meeren kannte. Damit war eigentlich bereits das tiefe Hinabsteigen der Tierwelt bis in die abyssalen Regionen erwiesen und dargethan, daß der Boden der tiefen Ozeane nicht, wie manche französischen Naturforscher meinten, mit ewigem Eis bedeckt sei.

3) Es scheint mir immerhin bemerkenswert zu sein, daß Humboldt im ersten Bande seines »Kosmos«, der allerdings sehr bald nach Forbes' erster Mitteilung zur Ausgabe gelangte, aber bereits einige Jahre früher verfaßt war, eine ganz andere Auffassung über das Tierleben in der Tiefsee vertritt: »In Tiefen, welche die Höhen unserer mächtigsten Gebirgsketten übersteigen, ist jede der auf einander gelagerten Wasserschichten mit polygastrischen Seegewürmen, Cyclidien und Ophrydinen belebt. Hier schwärmen, jede Welle in einen Lichtsaum verwandelnd und durch eigene Witterungsverhältnisse an die Oberfläche gelockt, die zahllose Schaar kleiner, funkelnd-blitzender Leuchtthiere: Mammarien aus der Ordnung der Acalephen, Crustaceen, Peridinium und kreisende Nereidinen.«

4) Von den Meerestiefen hatte man früher recht übertriebene Vorstellungen. Die unvollkommenen Lotapparate, die man anwandte, ergaben, wenn sie in die

großen Tiefen hinabgelassen wurden, oft sehr unsichere Ergebnisse. Da das Aufschlagen des Gewichtes auf den Meeresboden unbemerkt blieb, wurde viel mehr Seil ausgegeben, als die Tiefe betrug. So glaubte man im südatlantischen Ozean Tiefen von 14100 m (Kapitän Denham im Jahre 1852) und sogar 15180 m (Leutnant Parker) gefunden zu haben, Tiefen, die durch die späteren Lotungen des Challenger und der Gazelle auf 4400—5300 m richtig gestellt wurden.

Die größten, bisher sicher bestimmten Tiefen finden sich nicht mitten in den Ozeanen, sondern unfern dem Festland oder vulkanischen Inseln. Lange galt die von dem amerikanischen Expeditonsschiff Tuscarora (1873—1875) östlich von Japan gemessene Tiefe von 8513 m als die bedeutendste. In den letzten Jahren wurden im Stillen Ozean in der Nähe der Tonga- oder Freundschaftsinseln und weiter südlich bei den Kermandekinseln 9184 und 9427 m gelotet und zuletzt nördlich von den vielumstrittenen Karolinen bei der Ladroneninsel Guam die größte bisher bekannte Tiefe mit 9644 m bestimmt.

5) Die Forbessche Einteilung in acht Zonen wurde bald fallen gelassen, und es bedeutet immerhin einen gewissen Fortschritt, wenn Austen, Forbes' Mitarbeiter, die Zahl auf vier beschränkte. Er unterschied eine Strand- oder Gezeitenzone als die oberste; die folgende Zone der Laminarien reicht bis etwa 30 m hinab, die der Korallinen bis 100 m, und die letzte, die der Tiefseekorallen, ist bereits durch sehr einförmige Lebensbedingungen ausgezeichnet und fast lichtlos.

Alle älteren Versuche, bestimmte übereinanderliegende Zonen im Meere nachzuweisen, gehen von der unrichtigen Voraussetzung aus, daß in der bathymetrischen Verteilung aller Tierstämme eine gewisse Übereinstimmung herrsche. Das ist aber durchaus nicht der Fall, und selbst für einen einzigen Typus werden sich kaum solche Zonen auffinden lassen, die für alle Familien, geschweige denn alle Gattungen Bedeutung hätten. Auch die drei bekannten Tiefenzonen, mit denen Geologen und Geographen zu rechnen pflegen, die litorale, kontinentale und abyssische, müssen in ihren Grenzen ganz erhebliche Veränderungen erfahren, sobald sie auf verschiedene Gruppen des Tierreichs angewendet werden. Für die Seeigel hat ein so ausgezeichneter Kenner wie Al. Agassiz die unteren Grenzen der litoralen, kontinentalen und abyssalen Regionen in die Tiefen von 275, etwa 900 und 5300 m verlegt. Aber es haben doch die neueren Funde überzeugend dargethan, wie wenig die meisten Familien der Seeigel, ja selbst die Gattungen an diese oder jene Zone gebunden sind. Für alle pelagischen, freischwimmend lebenden Tiere wird die Scheidung in die drei Zonen ohnedies hinfällig. Wie schon auf der deutschen Plankton-Expedition und jetzt wieder auf der Tiefsee-Expedition sich erwiesen hat, lassen sich im wesentlichen nur zwei Regionen unterscheiden, die vorwiegend durch verschiedene physikalische Verhältnisse bestimmt werden: eine obere durchlichtete, von assimilierenden Pflanzen bewohnte und die dunkle Tiefe, in der lebende Pflanzen fehlen. Beide Regionen gehen ganz allmählich ohne scharfe Grenze ineinander über, weil eben die Lebensbedingungen unmerklich langsam sich verändern und nicht sprungweise wechseln. Aus Gründen, die oben (p. 16) ausgeführt sind, beginnt die Tiefenzone in ungefähr 550 m. Freilich treten an vielen Orten und auch zu gewissen Zeiten die die Tiefsee bestimmenden Erscheinungen bereits in oberen Schichten auf, allein es ist sicher nicht zutreffend,

wenn Pagenstecher (Über die Tiere der Tiefsee, 1879) die Grenze der beiden Zonen schon in die 100 Faden-Tiefe (ca. 190 m) verlegt.

6) Als eine der merkwürdigsten Formen, die an dem Kabel saßen, beschrieb A. Milne-Edwards die *Caryophyllia arcuata*, eine Koralle, die bis dahin nur fossil aus dem oberen Tertiär Piemonts und Siziliens bekannt war.

7) Noch auf der Challenger-Expedition (1872—1876) bediente man sich der Hanfseile. Drahtseile wurden zuerst durch Al. Agassiz eingeführt, der sich in noch vielen anderen Beziehungen um die Förderung der Tiefseeforschung wesentliche Verdienste erwarb.

Diese Drahtseile repräsentieren selbst ein sehr bedeutendes Gewicht. Nach den von Hensen (Methodik der Untersuchungen, 1895) gegebenen Tabellen für die auf der deutschen Plankton-Expedition verwendeten Seile wiegen 1000 m Drahtseil von 19 mm Umfang 177 kg, von 22 mm 250 kg, von 25,4 mm 310 kg. Im Wasser erleichtert sich das Gewicht auf 135, 220 und 259 kg. Das Seil des österreichischen Expeditionsschiffes Pola hatte 10 mm Durchmesser und wog 344 kg per 1000 m; das gleiche Gewicht wird wohl auch das gleichstarke Stahlkabel besessen haben, das auf der deutschen Tiefsee-Expedition angewendet wurde. Das 6000 m lange Seil wog dann das stattliche Gewicht von 2064 kg, das sich im Wasser auf etwa 1800 kg reduziert haben mag.

Welche gewaltige Last das schwer beladene Tiefennetz darstellen kann, entnimmt man aus Chun's Schilderung (Aus den Tiefen des Weltmeeres). Im antarktischen Ozean förderte das Netz aus 4636 m neben kleinerem Gestein einen 5 Centner schweren Block. Während das Trawl eine Stunde lang über dem Grunde gezogen wurde, betrug zuweilen der Zug mehr als 5 Tonnen (5000 kg). Das erfordert eine sehr bedeutende Festigkeit des Seiles. Die auf der Tiefsee-Expedition verwendeten Stahlkabel für die Grundnetze hatten eine Länge von 10000 m und bestanden aus zwei fest verbundenen Teilen. 6000 m Kabel maßen 10 mm im Durchmesser und hatten eine Bruchfestigkeit von 5039 kg; die oberen 4000 m waren 12 mm dick und besaßen eine garantierte Festigkeit von 8165 kg. Die Auftriebnetze, die nicht über dem Boden schleifen und nur die freischwimmenden Organismen fangen, üben niemals einen so starken Zug aus. Immerhin besaßen auch ihre Drahtseile einen Umfang von 20—25 mm und eine Bruchfestigkeit von 1975—3039 kg.

8) Selbst bei der Anwendung der neuesten, verhältnismäßig rasch arbeitenden Instrumente dauert ein Dredschzug in großer Tiefe viele Stunden, da das Netz nur mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von nicht ganz $^1/_3$ m in der Sekunde sich ordnungsgemäß in die Tiefe bringen und nicht viel schneller wieder heben läßt. Überdies muß ein Drittel mehr Seil ausgegeben werden als die wirkliche Tiefe beträgt, um das Netz mit Sicherheit horizontal auf dem Grunde nachschleppen zu können. Auf der deutschen Tiefsee-Expedition nahm ein Dredschzug in 5108 m $10^1/_2$ Stunden in Anspruch. Es wurden in 5 Stunden 6700 m Seil ausgegeben, 1 Stunde lang wurde gefischt und $4^1/_2$ Stunden dauerte es, bis das Netz emporgewunden war. — Erheblich rascher gehen die Lotungen vor sich, da der Apparat mit der Durchschnittsgeschwindigkeit von 2,1 m in der Sekunde zur Tiefe gebracht, mit 1,6 m Geschwindigkeit gehoben werden kann. Eine Lotung in 5100 m beansprucht also etwa $1^3/_4$ Stunden Zeit.

9) Es wird vielleicht nicht unerwünscht sein, hier einige Angaben über die Tiefentemperaturen der Meere zur Hand zu haben. Am Rande des Ostgrönlandstroms ergaben sich auf Nordenskiölds Reise am 14. Juni 1883 (62° 35' n. Br., 40° 4' w. L.) folgende Verhältnisse:

Temperatur:	2,2°	3,9°	5,1°	5,7°	5,7°	5,1°
Tiefe:	0 m	25 m	50 m	100 m	200 m	450 m

Etwas verschiedene Temperaturen fand die deutsche Tiefsee-Expedition an der Packeisgrenze des antarktischen Ozeans zwischen dem 63.° und 64.° s. Br., 55° ö. L., Mitte Dezember 1898.

Temperatur:	— 1,0°	— 1,7°	— 1,1°	— 0,3°	+ 0,8°	+ 1,4°
Tiefe:	0 m	75 m	100 m	125 m	150 m	200 m

Temperatur:	+ 1,7°	+ 1,7°	+ 1,6°	+ 1,2°	+ 1,5°	+ 1,6°
Tiefe:	300 m	350 m	400 m	600 m	800 m	1000 m

Temperatur:	+ 1,6°	+ 0,6°	0°	— 0,3°	— 0,5°
Tiefe:	1500 m	2000 m	2400 m	2750 m	4700 m

Das Auffallende, beiden Reihen Gemeinsame liegt darin, daß in den circumpolaren Meeren unter dem kalten Oberflächenwasser eine wärmere und salzreichere Wasserschicht ruht, sodaß die niedrige Oberflächentemperatur gar nicht oder erst in sehr bedeutenden Tiefen wieder erreicht wird.

Über die Abnahme der Temperatur in den Tiefen der tropischen und subtropischen Regionen des atlantischen Ozeans haben die Messungen der deutschen Plankton-Expedition (Krümmel, Geophysikalische Beobachtungen, 1893) interessante Ergebnisse gebracht.

5. Sept. 3° 40' n. Br., 18° 58' w. L.

Temperatur:	26,3°	22,7°	13.9°	9,3°	6,0°	4,5°
Tiefe:	0 m	100 m	200 m	400 m	650 m	900 m

22. August (Sargassosee). 26° 27' n. Br., 32° 33' w. L.

Temperatur:	24.2°	18,8°	14,9°	3.8°
Tiefe:	0 m	195 m	390 m	2060 m

Darnach erwies sich die Sargassosee als das am tiefsten hin durchwärmte Meer. Letzthin hat allerdings die deutsche Tiefsee-Expedition im indischen Ozean bei den Kokosinseln in 200 m Tiefe noch eine Temperatur von 20,8° C. gefunden, die freilich ziemlich rasch sinkt und in 300 m Tiefe 13,2°, in 500 m 9,2° C. beträgt.

In den gemäßigten Zonen wird die direkte Beeinflussung der Wassertemperatur durch die Sonnenwärme kaum tiefer hinabreichen als 180—200 m, und im Mittelmeer vielleicht nur 100 m (Boguslawski). Unterhalb dieser Tiefe verschwindet jeder Einfluß der Jahreszeiten auf die Wasserwärme. Im Sargassomeer scheinen sich allerdings die Jahreszeiten bis zu 400 m fühlbar zu machen. Wenigstens fand die deutsche Plankton-Expedition in dieser Tiefe noch gewisse Unterschiede der Temperatur im August und Oktober. Doch waren die Differenzen nur so gering, daß sie auch in den Bereich der Instrumental- oder Beobachtungsfehler fallen könnten (Krümmel).

10) Die großen Temperaturunterschiede, die in den Tropen zwischen dem Oberflächen- und Tiefenwasser herrschen, werden von vielen mit dem Grundnetze gehobenen Tieren so schlecht vertragen, daß sie im warmen Wasser der oberen Schichten sofort absterben und bereits in aufgelöstem Zustande zu Tage kommen.

11) Über die Temperaturabnahme in den Tiefen des Mittelmeers geben die Messungen des »Washington« vom 27. August 1881 unter 39° 20′ n. Br., 13° 10′ ö. L. eine deutliche Vorstellung:

Temperatur:	26°	19,5°	16,8°	14,9°	14.5°	14.3°	14°
Tiefe:	0 m	30 m	50 m	80 m	100 m	150 m	200 m

Temperatur:	14°	14,1°	13,5°	13,6°	13,3°	13,3°
Tiefe:	300	500	800	1000	2500	3550

Chun (Die pelagische Tierwelt in größeren Meerestiefen und ihre Beziehungen zu der Oberflächenfauna, 1887) berechnet folgende Mittelwerte:

Temperatur:	18,4°	15,3°	14,1°	14°	13,8°	13,9°	13,5°
Tiefe:	50 m	100 m	150 m	200 m	300 m	500	1000

12) Das Mittelmeer ist nicht das einzige größere Meeresbecken, das eine derartige Erwärmung der großen Tiefen zeigt. Nordöstlich von Borneo herrscht in der Sulu- oder Mindorosee von 730 m Tiefe an bis zu 4660 m eine konstante Temperatur von 10,3° C., während die Oberflächentemperatur 28° C. beträgt. Das kann nur so erklärt werden, daß unterseeische Riffe diesen Meeresteil allseitig umgeben und einen Zufluß des kalten Grundwassers unmöglich machen. Ähnlichen Erscheinungen begegnet man auch in der Melanesiasee zwischen der Torresstraße und den Neuhebriden (vgl. Boguslawski, Die Tiefsee und ihre Boden- und Temperaturverhältnisse, 1879). Westlich von Sumatra ist im Mentaweibecken von 900 m ab die Temperatur stets gleich 5,9° C., während sie in den benachbarten freien Teilen des indischen Ozeans kontinuierlich abnimmt und in 1300 m Tiefe 4°, in 1700 m 3° beträgt. Es muß daher das Mentaweibecken durch 900 m unter dem Meeresspiegel liegende Barren vom freien Meer geschieden sein (Chun).

13) Da erhebliche Temperaturverschiedenheiten ein Haupthindernis für die Ausbreitung einer Art bilden, werden die oben erörterten Verhältnisse schon ausreichen, um uns zu erklären, warum die Oberflächentiere, die auf das warme Wasser angewiesen sind, im allgemeinen nicht sehr tief hinabsteigen. Wo das Verbreitungsgebiet einer Art in vertikaler Richtung sehr weit sich ausdehnt, haben wir es stets mit Formen zu thun, die gegen Temperaturunterschiede ziemlich unempfindlich sind. Solche Tiere sind daher in der Regel auch nicht auf eine engere geographische Zone beschränkt, sondern besitzen ein sehr weites horizontales Verbreitungsgebiet. Viele in der Tiefe lebende Formen sind Kosmopoliten.

Die niedere Temperatur bedingt eine gewisse Übereinstimmung der Lebensbedingungen in der Tiefe auch der tropischen Meere und in den oberen Schichten der circumpolaren Ozeane, und es ist daher die Möglichkeit gegeben, daß die an das kalte Wasser angepaßten arktischen und antarktischen Formen sich nach den gemäßigten und warmen Zonen hin ausbreiten, insofern sie es vermögen, in die Tiefe hinabzusteigen. Hier sind zwar die Temperaturverhältnisse die gleichen wie

in hohen Breiten an der Oberfläche, im übrigen aber bestehen doch recht verschiedene Lebensbedingungen, denen sicher nur ein Teil der circumpolaren Flachwassertiere sich wird anpassen können. Diejenigen, die das vermögen, müssen in ihrer geographischen Verbreitung dadurch ausgezeichnet sein, daß die bathymetrischen Centra ihres Vorkommens in verschiedenen Breiten verschieden tief liegen: die nordischen Arten werden im Süden tiefer leben. Eine ganz analoge Erscheinung läßt sich bei den das feste Land bewohnenden Organismen, bei Tieren und Pflanzen, beobachten. Die im Hochnorden in der Tiefebene lebenden Formen steigen in den wärmeren Zonen in immer höhere Gebirgsregionen empor.

Für skandinavische Meerestiere hat diese Verbreitungsart schon vor langer Zeit Lovén erkannt, denn er fand, daß die bei Finnland an der Oberfläche oder in 36 m Tiefe vorkommenden Formen bei Gothenburg in 20 beziehungsweise 150 m Tiefe leben. So müßte man denn auch erwarten, in den abyssalen Regionen der tropischen Meere manche nächsten Verwandten der circumpolar oberflächlich lebenden Tiere wiederzufinden. Wenn das auch der Fall ist, so fehlt es doch auch nicht an Beispielen für ein entgegengesetztes, freilich nur schwer verständliches Verhalten, daß nämlich Gattungen, die in tropischen Meeren auch im flachen Wasser leben, in der Tiefe der arktischen Meere wiederkehren. Es ist bereits oben (p. 30) erwähnt worden, daß der *Astrophyton* von Ross im Hochnorden in beträchtlicher Tiefe aufgefunden wurde, während man ihn bis dahin nur aus dem warmen Wasser des indischen Ozeans kannte. Unter den Seeigeln gelten die Echinothuriden als typische Tiefseeformen. In höheren Breiten sind sie nur in größeren Tiefen bisher gefischt worden, während sie im tropischen Teil des indischen Ozeans auch ganz nahe der Oberfläche vorkommen. Ausdrücklich erwähnen P. und F. Sarasin (Ergebnisse naturwissenschaftlicher Forschungen auf Ceylon, 3. Heft, 1888), daß ihr *Asthenosoma urens* im Hafen von Trincomali innerhalb der 6 Faden-Tiefe anzutreffen sei. Auch unter den Hexactinelliden finden sich in den tropischen und subtropischen Regionen Vertreter, die in ziemlich geringen Tiefen leben.

Daß hochnordische und antarktische Tiere in gemäßigten und heißen Zonen in der Tiefsee vorkommen müßten, nahm bereits James Clark Ross an. Seine 1841 ausgeführten Untersuchungen erstrecken sich auf den antarktischen Ozean bei Süd-Victorialand, etwa unter dem 73° s. Br., reichen aber allerdings kaum tiefer als 550 m. Hier fand sich ein überraschend reiches Tierleben von Bryozoen, Coelenteraten, Würmern, Schnecken und Krebsen. Besonders auffallend aber erschien es, daß hier solche Formen sich wiederfanden, die man bis dahin nur im Hochnorden angetroffen hatte. Das getrennte Vorkommen in zwei räumlich so weit auseinanderliegenden Wohngebieten glaubte Ross nur dadurch erklären zu können, daß im kalten Tiefenwasser der zwischenliegenden Meere ein steter Austausch zwischen den beiden polaren Faunen erfolge.

Neuerdings hat Chun (Die Beziehungen zwischen dem arktischen und antarktischen Plankton, 1897) den gleichen Standpunkt vertreten, um das Vorkommen derselben pelagischen Formen in beiden Polarmeeren verstehen zu können. Wenn auch eine gewisse Übereinstimmung der pelagischen arktischen und der noch so überaus dürftig bekannten antarktischen besteht, so kennen wir doch eigentlich nur drei beiden Gebieten gemeinsame Arten: die *Sagitta hamata* Möbius, *Diphyes arctica* und *Fritillaria borealis* Lohmann. Die letztere kommt aber deshalb

hier nicht weiter in Betracht, weil sie zweifellos nicht eine rein bipolare, sondern eine kosmopolitische Form ist. Auf der deutschen Tiefsee-Expedition sind zahlreiche Tiefenzüge mit dem Schließnetz ausgeführt worden, um die Frage zur Entscheidung zu bringen, ob in der That ein derartiger Austausch zwischen den beiden circumpolaren Faunen in der Tiefe besteht. Aber erst dann, wenn das gesammelte Material verarbeitet sein wird, wird darauf eine klare Antwort gegeben werden können.

Daß übrigens die Tiefsee nicht der einzige Weg ist, auf dem eine Verbindung zwischen den circumpolaren Regionen sich erzielen läßt, hat man schon lange bemerkt. Seitdem Humboldt eine starke kalte Meeresströmung an der Westküste Südamerikas nachgewiesen hat, ist bereits mehrfach darauf hingedeutet worden, daß in diesem Strom ein wichtiges Verbreitungsmittel der antarktischen Fauna gegen den Äquator zu gegeben ist und daß sich auf diese Weise der faunistische Charakter der Küste Chilis und weiter nördlich bis zu den Galapagosinseln erklärt. Das Vordringen der antarktischen Mollusken auf diesem Wege hat schon Orbigny erkannt, und Milne-Edwards führte die Verbreitung der Pinguine an der Westküste Amerikas auf jenen Kaltstrom zurück. Auch Ortmann (Über »Bipolarität« in der Verbreitung mariner Tiere. Zoolog. Jahrbücher, Abt. f. Systematik, 1896) bezeichnet diesen und den an der Westküste Nordamerikas nach Süden fließenden kalten Strom als einen Verbindungsweg zwischen den circumpolaren Meeren.

Will man nicht, wie es allerdings in einer überzeugenden Weise kaum geschehen könnte, die Ähnlichkeit zwischen beiden polaren Faunen lediglich dadurch erklären, daß nach dem Prinzip der konvergenten Züchtung an beiden Orten gleiche und ähnliche Tierarten sich selbständig durch Anpassung an die äußeren sehr ähnlichen, fast gleichen Lebensbedingungen hervorgebildet haben, sondern nimmt man an, daß die Übereinstimmung thatsächlich auf Blutsverwandtschaft beruht, so bleibt noch eine andere Erklärungsmöglichkeit bestehen.

Murray und besonders Pfeffer (Versuch über die erdgeschichtliche Entwicklung der jetzigen Verbreitungsverhältnisse unserer Tierwelt, 1891) erklären die Übereinstimmung aus einem faunistischen Zusammenhang der jetzigen polaren Regionen in früheren Erdperioden. »Bis zu alttertiären Zeiten gab es auf Erden keine zonenartigen Faunen, sondern nur eine einzige, über die ganze Erde verbreitete allgemeine Fauna«. Erst später entstand eine klimatische Sonderung, und gleichzeitig zogen sich die früher über die ganze Erde verbreiteten Warmwassertiere in die äquatorialen Zonen zurück, während nur gewisse Arten den veränderten Existenzbedingungen der kälteren Regionen sich anzupassen vermochten. Die Vorfahren der heutigen polaren Litoralfaunen waren einst über das Litoral der ganzen Erde verbreitet. »Kein Tier, mit Ausnahme einiger starken, gegen klimatische Verhältnisse unempfindlichen Schwimmer und der in die Tiefsee steigenden Arten kann von dem einen Gebiete in das andere hinüber; im allgemeinen setzt die zwischen beiden liegende Tropenzone ebenso wie die Tiefsee jeder Annäherung, jeder Vermischung und jedem Austausch zwischen beiden Faunen die völlige Unmöglichkeit gegenüber.«

Gegen die Annahme einer »allgemeinen Fauna« der mesozoischen, ja selbst der paläozoischen Zeit haben sich aber, wie es scheint aus gewichtigen Gründen, schon Neumayr (Die klimatischen Zonen während der Jura- und Kreidezeit, Wien

1882) und später Frech (1892) geäußert: »Das Klima der Jura- und Kreidezeit zeigte eine ähnliche zonare Differenzierung wie das der Jetztwelt.«

So sind denn die Temperaturverhältnisse der Tiefsee neuerdings wieder in den Vordergrund der theoretischen Erörterungen getreten. Die deutsche Tiefsee-Expedition scheint den polar-litoralen Charakter der Tiefseefauna, so wie die früheren Forschungen, nur bis zu einem gewissen Grade festgestellt zu haben. Die Zahl der identischen Arten ist jedenfalls eine sehr geringe und sicher nicht größer als die der panbathymetrischen, kosmopolitischen. Nur wenige polare Flachwasserformen sind in die Tiefe gegangen, ohne sich zu verändern. Für Pfeffers Auffassung, daß die polare Fauna eine in flachere Meeresteile aufgestiegene Tiefseefauna sei, scheinen sich neuerdings keine beweisenden Funde ergeben zu haben.

14) Über die Einwirkung eines gesteigerten Wasserdrucks auf die Tiere liegen auch eine Reihe Experimente vor, die im allgemeinen geeignet scheinen, die Unempfindlichkeit gegenüber geringeren Druckschwankungen darzuthun. Natürlich verhalten sich verschiedene Arten verschieden, und auch mit individuellen Eigentümlichkeiten wird zu rechnen sein. Mollusken und Blutegel wurden bei einem Druck von 600 Atmosphären, der einer Tiefe von über 6000 m entspricht, lethargisch. Copepoden schienen schon 200 Atmosphären Druck zu empfinden und wurden bei 600 Atmosphären Druck starr und leblos. In normale Lebensbedingungen zurückgebracht, erholten sie sich aber bald wieder (Regnard). Jedoch sind bei diesen Versuchen Beobachtungsfehler nicht ausgeschlossen, da der verhältnismäßig geringen Wassermenge, mit der experimentiert wurde, keine Luft zugeführt werden konnte und daher der Sauerstoffvorrat durch die Atmung der Tiere sich verringerte und vielleicht vollständig schwand.

15) Häufig steht die Schwimmblase mit dem Darm durch einen Luftgang im Zusammenhang (Physostomen), und es ist dann die Möglichkeit gegeben, daß die Spannung der Blase durch Entweichen der Luft reguliert werde; oft aber fehlt ein Kanal, und das Organ stellt einen allseitig geschlossenen, prall gefüllten Sack dar. Morphologisch entspricht die Schwimmblase der Lunge der höheren Wirbeltiere, die physiologische Bedeutung aber ist eine ganz andere, denn die Blase funktioniert als ein hydrostatischer Apparat, und erst bei den Lungenfischen (Dipnoer) vollzieht sich der Funktionswechsel. Am eingehendsten hat zuerst Bergmann (Bergmann und Leuckart, Anatomisch-physiologische Übersicht des Tierreichs, 1852) die Bedeutung des Organs für den Fisch klargelegt. Kontrahieren sich die Muskeln der Blasenwand, so wird die in der Blase enthaltene Luft komprimiert und bei gleich bleibendem Gewicht ein geringeres Volumen erzielt. Das spezifische Gewicht des Fisches, das im allgemeinen dem des Wassers sehr nahe kommt, wird erhöht und das Tauchen in die Tiefe wesentlich erleichtert, vielleicht schon allein dadurch bedingt. In den tieferen Wasserschichten nimmt der Wasserdruck proportional der Tiefe zu, während das spezifische Gewicht des Wassers selbst, bei der geringen Zusammendrückbarkeit dieses Mediums, fast unverändert bleibt, denn in 1500 m Tiefe, unter einem Drucke von 150 Atmosphären erleidet das Wasser nur eine Volumensverringerung von $^1/_{144}$. Der in die tieferen Schichten hinabsteigende Fisch gelangt unter einen stärkeren Wasserdruck, und dieser muß sich in einer weiteren Komprimierung der Schwimmblase äußern. Die Folge ist eine weitere Steigerung des spezifischen Gewichtes des Fisches und

daher ein tieferes Sinken. Somit läßt sich die Tiefe gar nicht absehen, in welche das Tier geraten müßte, wenn es lediglich von der Schwimmblase abhängig wäre und durch die aktiven Schwimmbewegungen dem Zuge nach unten nicht entgegen zu wirken vermöchte. In je beträchtlichere Tiefe das Tier gesunken ist, desto größer wird die Anstrengung der Lokomotionsorgane sein müssen, um den Widerstand des zunehmenden spezifischen Gewichtes zu bewältigen. Nicht unwahrscheinlich ist es daher, daß die Schwimmblase gewissen Fischen ein Hinabsteigen unter eine bestimmte Tiefe überhaupt nicht gestattet, wenn die Möglichkeit des Wiederaufsteigens gewahrt bleiben soll.

Umgekehrt wird beim Emporsteigen eines an eine bestimmte Tiefe angepaßten Fisches die Schwimmblase sich rasch ausdehnen und eine Herabsetzung des spezifischen Gewichtes des ganzen Tieres bewirken. Aus dieser würde sich, wenn vorher das spezifische Gewicht des Fisches dem des Wassers gleich gewesen wäre, ein weiteres Emporsteigen von selbst ergeben. Der Ausdehnung der Schwimmblase infolge abnehmenden Wasserdrucks wirkt die Elastizität der Wandung und die sich kontrahierende Muskelbekleidung entgegen, und es läßt sich verstehen, daß Fische, die an tiefere Wasserschichten angepaßt sind, beim Aufsteigen in zu hohe Schichten eine derartige Ausdehnung der Schwimmblase erfahren können, daß sie über dieses Organ die Gewalt verlieren und bis an die Oberfläche getrieben werden, ohne die Fähigkeit zu bewahren, in die Tiefe zurückzukehren. Derartige Erfahrungen hat man schon längst an den die Tiefen der Alpenseen bewohnenden Süßwasserfischen gemacht.

Der Kilch (*Coregonus hiemalis*) findet sich im Boden- und Ammersee in Tiefen von 70 m unter einem Überdruck von mehr als sieben Atmosphären. Wird er mit einem Netzzug rasch an die Oberfläche gebracht, wo nur noch der Druck der atmosphärischen Luft wirkt, so platzt oft die mächtig aufgetriebene Schwimmblase mit lautem Knall, oder die Tiere kommen als »trommelsüchtig« ans Tageslicht mit mächtig aufgetriebenen ballonförmigen Bäuchen und erweiterter Schwimmblase, zuweilen auch, wie es an Barschen gelegentlich beobachtet wurde, mit ausgestülptem Schlund. Diese Tiere schwimmen mit nach unten gekehrtem Rücken an der Wasseroberfläche und machen vergebliche Versuche, in die Tiefe zurückzugelangen. Sie sterben bald ab, wenn sie nicht in geeigneter Weise operirt werden, was die Fischer »stupfen« nennen. Das geschieht so, daß durch ein in die Leibeshöhle eingeführtes zugespitztes Holzstäbchen die Schwimmblase angestochen wird. Dann entweicht die überschüssige Luft, die Schwimmblase und der aufgeblähte Körper fallen auf das normale Maß zusammen, und die Fische gesunden rasch.

16) Es wird berichtet, daß die in der Bai von Setubal aus 1200 m und noch größerer Tiefe gehobenen Centrophorus-Haie vollkommen regungslos und betäubt an der Oberfläche erscheinen (Wright, zitiert nach Schleiden, Das Meer). Sternoptychiden, leuchtende Fische der Tiefsee, kommen oft zerbrochen empor (Pagenstecher), und das Gleiche gilt für viele Ophiuren und Asteriden. Von *Brisinga elegans* dürfte wohl überhaupt kein völlig unverletztes Tier bekannt geworden sein.

Andererseits fehlt es auch nicht an Tieren, die im Meere Strecken von mehreren Tausend Metern in vertikaler Richtung in sehr kurzer Zeit durchmessen, ohne Schaden zu nehmen. Viele Haie halten sich gern am Grunde tiefer

Meeresstellen auf, um gelegentlich in kurzem Zeitraume Beute suchend bis an die Oberfläche vorzudringen. Der Walfisch pflegt, wenn er mit der Harpune verwundet worden ist, rasch in so bedeutende Tiefen zu tauchen, daß oft die Holzteile des Wurfgeschosses zusammengepreßt werden und dann auf dem Wasser nicht mehr schwimmen.

Geeigneter vielleicht noch als die Fische erweisen sich die gut fliegenden Vögel zur Durchwanderung großer vertikaler Strecken in möglichst kurzer Zeit. Vielleicht kein anderer Vogel vermag sich so hoch im Luftmeer zu erheben, wie der Kondor, der Riese unter den Geiervögeln, dessen Flügel mehr als 4 m spannen. In der Hochebene von Quito lebt er gewöhnlich in den Luftschichten zwischen 3250 und 5850 m. Dort sah ihn Humboldt (Ansichten der Natur) über dem Antisana in Höhen von 7150 m stundenlang kreisen. Aus diesen gewaltigen Höhen kann sich der Vogel in kurzer Zeit am westlichen Abhang des Vulkans Pichincha bis zum Meeresufer hinabsenken und so alle Klimate rasch durchmessen.

17) Die atmosphärische Luft besteht durchschnittlich aus 23 % Sauerstoff und 77 % Stickstoff; die Luft im oberflächlichen Meerwasser dagegen ist sauerstoffreicher, denn der Prozentgehalt an Sauerstoff beträgt 33—35. Das erklärt sich daraus, daß das Seewasser für Sauerstoff ein größeres Absorptionsvermögen besitzt als für Stickstoff. Nach den Beobachtungen der Challenger-Expedition nimmt der Sauerstoffgehalt der Luft nach der Tiefe zu allmählich ab. Nur zwischen 200 und 400 Faden (365—730 m) erfolgt die Abnahme rapid sprungweise, um hier ein Minimum zu erreichen und nach der Tiefe allmählich wieder zu steigen, ohne aber das Oberflächenmaximum auch nur entfernt zu erreichen. Die deutsche Tiefsee-Expedition hat ganz übereinstimmende Ergebnisse erhalten. Bis zu 50 m Tiefe ergab sich ein Sauerstoffgehalt von ungefähr 8 ccm im Liter Seewasser. Zwischen 50 und 300 m sinkt der Gehalt bis auf wenig mehr als 4 ccm, um endlich unter ganz allmählicher Zunahme bei 4000 m sich auf ungefähr 5,5 ccm zu erheben.

Es ist merkwürdig, wie häufig man gerade unter gebildeten Laien die Ansicht findet, daß die Tiere, die mit Kiemen im Wasser atmen, den Sauerstoff so gewinnen, daß sie das Wasser in seine Bestandteile, in Sauerstoff und Wasserstoff, in ähnlicher Weise zerlegen, wie dies der elektrische Strom thut. Davon kann natürlich keine Rede sein, sondern der zur Atmung notwendige Stoff wird der Luft entnommen, die dem Wasser beigemischt ist. Wird diese, etwa durch Kochen, ausgetrieben, so ersticken in diesem Wasser die Tiere trotz ihrer Kiemen.

18) Ebensowenig kann aus dem Verhalten des Salzgehaltes ein Grund gegen die Bewohnbarkeit der großen Tiefen hergeleitet werden, denn der Salzgehalt, in Prozenten ausgedrückt, zeigt zumeist keine konstante Veränderung nach der Tiefe zu. Er kann dem der oberflächlicheren Schichten ganz gleich sein, ihn übertreffen oder geringer erscheinen. Jedenfalls sind seine Veränderungen in der Vertikale nach der Tiefe zu nicht viel beträchtlicher als in den gleichen Entfernungen in einer Horizontalebene, z. B. unmittelbar an der Oberfläche des Meeres.

19) Sehr interessante Versuche über das Eindringen der Lichtstrahlen in die Meerestiefe haben Fol und Sarasin (Sur la pénétration de la lumière dans la profondeur de la mer. Compt. rend. 1886 und früher schon 1885) angestellt, nachdem vorher bereits Forel (La faune profonde des lacs suisses 1884) und auch Fol

(Compt. rend., Bd. 99, 1884) die schweizer Seen daraufhin untersucht hatten. Mit verbesserten Apparaten haben dann Chun und Petersen (Die pelagische Tierwelt in größeren Meerestiefen 1888, p. 58) im Golf von Neapel experimentiert.

20) Man vergleiche über die Farbe des Meeres die ausgezeichnete Darstellung Krümmels (Geophysikalische Beobachtungen. Ergebnisse der Plankton-Expedition. 1893).

21) Über solche Wahrnehmungen bei seinen Versuchen an der Riviera berichtet Fol (Compt. rend., Paris, Bd. 110, 1890). In der Tiefe erschienen ihm rote Gegenstände schwarz, grüne Algen sah er dagegen noch in den ursprünglichen lebhaften Färbungen.

22) Diese spektroskopischen Untersuchungen rühren von H. W. Vogel her (Poggendorffs Annalen, 1875), der die Grotte an einem Junitag des Jahres 1875 untersuchte.

23 Auch im durchfallenden Licht erscheint nach den Untersuchungen von Oltmanns (Pringsheims Jahrb. f. wissensch. Botanik, Bd. 23, 1892) das Ostseewasser grün, denn es absorbiert beide Enden des Spektrums. Beim Hindurchgehen durch eine 17 m dicke Wasserschicht waren das Rot vollständig und das Gelb zum Teil geschwunden, ebenso aber auch Violett, Indigo und Blau bis zu einer Wellenlänge von 450 $\mu\mu$.

24) Die Farbe, in der uns das Meer erscheint, hängt davon ab, wo die Reflexion der ins Wasser fallenden Lichtstrahlen erfolgt. Abgesehen von den bei glatter Meeresoberfläche an dieser schon in erheblichem Maße eintretenden Reflexionen, müssen im absolut reinen und ungetrübten Tiefenwasser die Strahlen immer weiter in die Tiefe vordringen, bis sie füglich vollkommen resorbiert werden, da sie nirgends auf Körper treffen, von denen sie wieder nach oben zurückgeworfen werden könnten. Absolut reines, tiefes Gewässer müßte daher schwarz erscheinen. Nun ist aber niemals das Meerwasser vollkommen rein, sondern von Trübungen aller Art, von mikroskopisch kleinen Organismen oder anorganischen Partikelchen mehr oder minder dicht erfüllt, und diese reflektieren die eingetretenen Lichtstrahlen. Erfolgt die Reflexion schon in ziemlich geringer Tiefe, weil eine sehr reiche Trübung vorhanden ist, so wird das Licht fast ganz in der Beschaffenheit zurückgeworfen, in der es eingetreten ist; vielleicht nur ein Teil der roten Strahlen ist durch Absorption im Wasser verloren gegangen, und das Wasser erscheint weißlich trüb. Ist das Meer nur seicht, sodaß die Reflexion vom Meeresboden aus erfolgt und dieser hindurchschimmert, so wird dessen Beschaffenheit in erster Linie die Farbe bestimmen. Erfolgt bei geringerer Trübung des tiefen Meeres die Reflexion in größerer Tiefe, so sind die roten und gelben Strahlen vom Wasser resorbiert und können nicht mehr zurückgeworfen werden: die Meeresfarbe erscheint grünlich oder blaugrün. Findet die Reflexion bei nur sehr geringer Trübung des Mediums in noch größerer Tiefe statt, so sind auch die grünen Strahlen bereits resorbiert und fehlen daher im reflektierten Licht: das Meer ist blau. Blau also erscheint uns das Meer, wenn es von Fremdkörpern möglichst frei ist, und es ist daher ganz zutreffend, wenn Schütt sagt: »Blau ist die Wüstenfarbe des Meeres.«

Natürlich sind die reflektierten Farben des Meeres auch von der Beschaffenheit der kleinsten im Wasser suspendierten Teile, die die Reflexion bedingen, abhängig. Thonige Körperchen halten sich leichter in oberen Schichten in der Schwebe als kieselige, sie lösen sich überdies leichter und erzeugen eine intensivere Trübung und daher gelblichgrünes Wasser (z. B. das »gelbe Meer« durch die vom Hoango eingeführten Lehmmassen). Feine weiße Kalkteilchen rufen eine besonders intensive blaue Meeresfarbe hervor, wie jedem Besucher der Riviera bekannt ist.

25) Die Verbreitung der Pflanzen ist völlig auf die durchlichteten oberen Meeresschichten beschränkt. Bei der Assimilation sind nicht alle Strahlen von gleicher Wirksamkeit. Gerade umgekehrt, als man es vielleicht a priori erwarten möchte, sind die kurzwelligen am blauen Ende des Spektrums von geringstem Einfluß, die roten und gelben dagegen am wichtigsten. Das gilt aber nur für die grünen Pflanzen; die braunen und roten Meeresalgen, die in den Chromatophoren neben ihren besonderen Farbstoffen das Chlorophyll führen, werden dagegen bei der Assimilation am stärksten durch die ihnen komplementären Strahlen beeinflußt: also durch die blauen. So erklärt es sich, daß die grünen Pflanzen an die obersten Meeresregionen gebunden sind, während die roten Algen beträchtlich tiefer hinabsteigen können, sicher bis zu einer Tiefe von 360 m. Die untere Grenze des Vorkommens lebender Pflanzen ist sehr schwer zu bestimmen, weil die toten in die Tiefe sinken und zunächst im kalten Tiefenwasser nur sehr wenig sich verändern. Es ist dann lediglich die Gruppierung der Chromatophoren, aus der sich darauf schließen läßt, daß die Pflanzen nicht mehr leben, ein Merkmal, dessen Erkennung völlige Vertrautheit des Beobachters mit dem Objekte voraussetzt.

Auf der deutschen Plankton-Expedition glaubte Brandt (Über die biologischen Untersuchungen der Plankton-Expedition. Verhandl. der Gesellsch. f. Erdkunde. Berlin 1889. Uber die Schließnetzfänge der Planton-Expedition. Ges. deutsch. Naturf. u. Ärzte, Lübeck 1895) das Vorkommen von lebenden Pflanzen — besonders *Halosphaera viridis* — in Tiefen von über 2000 m durch Schließnetzfänge festgestellt zu haben. Es konnten aber seine Angaben namentlich bei den Botanikern keine allgemeine Anerkennung finden, und man erklärte sich das Vorkommen in der Tiefe so, daß es sich um Ruhezustände von Pflanzen handle, die allmählich in die Tiefe hinabgesunken seien (Chun, Ges. deutsch. Naturf. u. Ärzte, Bremen 1890. Cohn, Die Pflanze. Bd. 2, 1897). Obwohl Brandt noch ganz neuerdings (Über den Stoffwechsel im Meere, 1899) eine derartige Erklärung mit Nachdruck ablehnt und hervorhebt, daß sicher gewöhnliche vegetative Zustände von *Halosphaera* vorgelegen hätten, bleibt es doch bemerkenswert, daß die deutsche Tiefsee-Expedition, die einen kenntnisreichen Botaniker an Bord hatte, in größeren Tiefen nur tote Pflanzen auffand und die lebenden assimilierenden Pflanzen nur bis etwa 400 m hinabsteigen sah (Chun, Aus den Tiefen des Weltmeeres, p. 209).

Im Verbreitungsgebiet der schwebenden Meerespflanzen lassen sich zwei übereinanderliegende Regionen unterscheiden; die tiefere, in den Tropen besonders scharf hervortretende, führt eine »Schattenflora«, der noch eine sehr schwache Belichtung genügt und deren Hauptvertreter die *Halosphaera* ist. Im antarktischen Meere fehlt die Schattenflora und fehlt auch die *Halosphaera*.

Im Gegensatze zu diesen assimilierenden Pflanzen reicht das Verbreitungsgebiet

der Bakterien sehr weit in die Tiefe hinab. Die deutsche Plankton-Expedition fand die Bakterien im Atlantischen Ozean schwebend bis in Tiefen von 3450 m, während sie auf dem Meeresgrund in größeren Tiefen zu fehlen schienen und jedenfalls mit Sicherheit nicht nachgewiesen werden konnten. (Fischer, Die Bakterien des Meeres. Ergebn. d. Plankton-Expedition, 1894). Auf der Tiefsee-Expedition wurde dagegen eine reiche Bakterienflora in den Grundproben bis zu 1750 m beobachtet (Die deutsche Tiefsee-Expedition 1898/1899. Amtl. Bericht des Prof. Chun, Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdk. Berlin, Bd. 34, p. 6 des Separatabzugs, 1899).

26) Unsere kolorierte Tafel zeigt einige der wichtigsten und auffallendsten Färbungen der Tiefseeorganismen. Rot, in den verschiedensten Tönen, erscheinen eine Anzahl Cruster, Echinodermen und Coelenteraten: In der Mitte des Vordergrundes eine blinde Eryonide, der etwa 52 mm lange *Eryonicus caecus* Faxon aus 1420—3380 m Tiefe; weiter hinten rechts der blutrote *Notostomus Westergreni* Faxon, der 13 cm lang wird und in 3200 m Tiefe lebt. Im Vordergrunde rechts kriecht eine *Brisinga endecacnemos* Asbjörnson, die in Tiefen von 180—2000 m vorkommt, weiter hinten in der Mitte ein *Plutonaster bifrons* W. Thomson (106—2525 m Tiefe, 16,5 cm groß) und *Archaster rigidus* Perrier, der vom »Talisman« in 5000 m Tiefe gedredscht wurde. Links sitzt der größte aller bekannten Polypen, der *Monocaulus imperator*, der mit seinem schlanken Stiele eine Länge von 2 m 24 cm erreicht und von der Challenger-Expedition in Tiefen bis zu 5300 m gefunden wurde. Einige Korallenpolypen sieht man rechts; im Vordergrund ein kleines 55 mm hohes Stöckchen von *Sympodium armatum*, das der Challenger in ca. 2000 m Tiefe fischte, weiter hinten eine größere leuchtende Rindenkoralle, *Mopsea*, die dem Werke Filhols (La vie au fond des mers, 1884) entnommen wurde; zwischen beiden steckt eine Tiefseesteinkoralle.

Rechts oben schwimmt eine rötlich angehauchte, ungefähr 16 cm große Tiefseemeduse, *Periphylla mirabilis* Haeckel, die vom Challenger in 2000 m Tiefe gefischt wurde, links eine Tiefseesiphonophore, die *Rhizophysa inermis* Studer, die fast farblos, nur stellenweise rötlichgelb gefleckt erscheint, eine Länge von mehr als 15 cm zeigt und mit der Lotleine aus über 3600 m Tiefe emporgebracht wurde.

Fahlbräunlich erscheinen links unter der Mitte des Bildes einige Glasschwämme von vogelnestähnlichem Aussehen: *Pheronema Parfaiti* Filhol, das eine Länge von ca. 12 cm erreicht und zwischen 1200 und über 2000 m Tiefe lebt. Olivengrün und grasgrün sieht man die gestielten Crinoiden gefärbt. Rechts den 25 cm hohen *Pentacrinus Wyville-Thomsoni* Jeffreys, der ziemlich häufig in 1200—1500 m Tiefe vorkommt, links den nur 5—6 cm langen *Bathycrinus gracilis* Wyv.-Thomson, der bis zu 4450 m hinabsteigt. Bläulichgrau ist eine zwischen 2435 und 3440 m Tiefe lebende Holothurie gezeichnet: *Benthodytes incerta* Ludwig, deren Länge 22 cm beträgt.

In der Mitte des Bildes schwebt eine Gruppe tief dunkler, sammetschwarzer, leuchtender Tiefseefische, die auf der deutschen Tiefsee-Expedition erbeutet wurden und von A. Brauer bearbeitet werden. Zu oberst eine ungefähr 20 cm lange Stomiatide, *Echiostoma n. sp.*, die im indischen Ozean in 1024 m gefischt wurde. Darunter ein ca. 15 cm langer, in 1500 m Tiefe lebender Vertreter einer neuen

Gattung aus der Familie der Ceratiiden und endlich eine neue, nur 8,7 cm große Spezies *Melanocetus*, die sich in einem aus 4000 m gehobenen Vertikalnetz fand.

Auch eine Anzahl verschiedener pigmentarmer Tiefseeorganismen zeigt die Abbildung. Links im Vordergrund, am Boden kriechend, findet sich ein blinder farbloser Cruster, der *Pentacheles spinosus* Milne-Edwards, der mit seinen Scheren 19 cm mißt und vom Talisman in 2200 m Tiefe aufgefunden wurde. Hoch oben im Wasser treiben zwei bis auf die Augen fast ganz farblose Tiefseekrebse des Mittelmeeres, die sich zwischen 600 und 1300 m aufhalten, häufig aber auch in obere Schichten aufsteigen und durch mächtige Antennen und Raubfüße ausgezeichnet sind: der ca. 4 cm lange *Sergestes magnificus* Chun und das nur 1 cm messende, mit Leuchtorganen ausgestattete *Stylocheiron mastigophorum* Chun. Darunter schwebt eine glashell durchsichtige, räuberisch lebende Annelide, die *Tomopteris euchaeta* Chun, die zwischen 500 und 1300 m im Mittelmeer heimisch ist und 3 cm lang wird. Tief unten schwimmt ein weißer, farbloser, ungefähr 8 cm langer Fisch: der *Bathypterois longicauda* Günther, der vom Challenger aus über 4500 m Tiefe gehoben wurde.

27) Ein farbloser durchsichtiger Körper entsteht nicht nur in Anpassung an die dunkle Tiefe, sondern ist bekanntlich auch den pelagischen Tieren der oberen Meeresschichten eigentümlich. Aber es läßt sich doch zuweilen, wie namentlich bei manchen Würmern und größeren Krebsen, ein Unterschied zwischen den bleichen Tiefseeformen und den oberflächlich lebenden Planktonorganismen feststellen. Denn bei den ersteren fehlt oft nur das dunkle Pigment, ohne daß gleichzeitig die Organe und Gewebe in besonderem Maße durchsichtig werden: die Tiere erscheinen daher nur im auffallenden Lichte weiß, im durchfallenden aber recht dunkel.

28) Es bedarf keiner weiteren Begründung, daß dieser Gesichtspunkt nur auf eine beschränkte Anzahl Tiere Anwendung finden kann. Wo, wie bei den meisten Echinodermen, die männlichen Zeugungsstoffe einfach in das Wasser abgestossen werden, ohne daß eine durch den Gesichtssinn hervorgerufene sexuelle Erregung vorangegangen wäre, kann natürlich von einer Beeinflussung der Färbung und Zeichnung durch geschlechtliche Zuchtwahl keine Rede sein.

29) Die Barteln sind durchaus keine Besonderheit der Tiefseeformen, sondern finden sich auch bei im flacheren Wasser lebenden Fischen. Unter den Süßwasserfischen ist der Wels durch seine Barteln leicht kenntlich, und unter den marinen Formen aus geringeren Tiefen giebt es solche, die mit zahlreichen monströs gestalteten, zum Teil verästelten Fortsätzen an allen beliebigen Körperstellen besetzt sind (z. B. *Lophius naresii*, der wohl kaum jemals unter 300 m hinabsteigt). Andererseits fehlen wieder vielen typischen Tiefseefischen Barteln oder andere äußere Tastfortsätze, sodaß also in dieser Beziehung kein durchgreifender Gegensatz herrscht.

30) Die Zahl der Beispiele ließe sich leicht beliebig vermehren. Unter den Schizopoden tragen die fast ausschließlich im unbelichteten Tiefenwasser lebenden Arten *Stylocheiron mastigophorum* und *Arachnomysis Leuckartii* Chun sehr verlängerte Fühler, die bei der letzten Art fast 4mal so lang sind wie der Rumpf. Auf der deutschen Plankton-Expedition wurde zwischen 600 und 800 m ein merkwürdiger Isopod, die *Munnopsis longicornis* Hansen, gefangen, dessen Geißeln über

8mal so lang sind als der Körper. Unter den Tiefseegarneelen giebt es blutrote Formen, deren mächtige Fühler den Körper sogar um das Zehn- bis Zwölffache an Länge übertreffen (*Aristaeus, Aristaeopsis*).

31) Auch für die Umbildung und Streckung der Extremitäten ließen sich leicht noch zahlreiche andere Cruster als Beispiele anführen. Allerdings würde es ebensowenig schwer fallen, Flachwasserformen zu nennen, bei denen die Extremitäten oder auch die Fühler in einer ähnlichen Weise umgestaltet erscheinen wie bei ausgesprochenen Tiefseeformen. Auch in anderen Tiergruppen und unter ganz verschiedenen Lebensweisen bilden sich ähnliche Erscheinungen aus wie die hier erwähnten; zuweilen treten sie nur beim männlichen Geschlecht auf. Es sei z. B. nur darauf hingewiesen, daß unter den Käfern männliche Bockkäfer (*Acanthocinus aedilis*) Fühler tragen, die den Körper 5mal an Länge übertreffen, daß scherentragende oder in anderer Weise geformte, an *Stylocheiron* erinnernde Raubfüße in verschiedenen Tiergruppen im flachen Meerwasser, in süßen Gewässern und auf dem festen Lande wiederkehren. Es kann kein Zweifel darüber bestehen, daß gleiche oder sehr ähnliche Umformungen der Fühler und Extremitäten durch Anpassung an sehr verschiedene Lebensbedingungen hervorgerufen werden können und daß aus ihnen allein wohl kaum die Tiefseenatur jener Formen sich erschließen ließe.

32) Zwar leben auch in vollkommen dunklen Grotten Tiere mit wohlausgebildeten Sehorganen; es sind das aber doch nur solche Formen, die ihre Augen behalten haben, weil sie erst vor verhältnismäßig kurzen Zeiträumen die sonnendurchleuchteten Gewässer und Landstriche verlassen und jene dunklen Räume aufgesucht haben. Die Arten, deren Vorfahren schon seit langer Zeit als Höhlenbewohner lebten, haben die Sehorgane bereits verloren, da diese Gebilde für sie im Kampfe ums Dasein ohne jede Bedeutung sind und bei der natürlichen Auslese der Individuen nicht zählen. Viele von den Augen tragenden Tiefseeformen steigen nun freilich gelegentlich auch in höhere lichte Wasserschichten empor und haben so Gelegenheit, ihre Sehorgane zu gebrauchen und zu üben, oder sie sind erst seit verhältnismäßig kurzer Zeit in die Tiefe eingewandert und haben daher ihre Augen noch nicht rückgebildet. Vielleicht die Mehrzahl aber der sehenden Tiefseetiere sind sehr alte, den eigenartigen Existenzbedingungen durchaus angepaßte Formen, die von ihren nächsten Verwandten an der Oberfläche sich erheblich verschieden erweisen.

33) Über die Leuchtorgane der Crustaceen haben besonders die Untersuchungen von Chun (Leuchtorgan und Facettenauge. Biolog. Centralblatt 1893. Atlantis. Biologische Studien über pelagische Organismen, 1896) Aufschluß gebracht. Sie beziehen sich auf die Schizopoden der Tiefsee, auf Euphausien und Mysideen. Die Gattung *Bentheuphausia* hat bei rudimentären Augen keine Leuchtorgane. Die Leuchtorgane des Kopfes sitzen in der nächsten Nachbarschaft der Facettenaugen auf den Augenstielen und besitzen einen lamellös geschichteten Reflektor, der das Licht des vor ihm gelegenen Leuchtkörpers wie ein Hohlspiegel zurückwirft, sodaß es nach außen hin und vor den Mund fällt. Bei *Euphausia* sind die Leuchtorgane durch besondere Muskeln beweglich, bei *Nematoscelis* und *Stylocheiron* sorgen die beweglichen Augenstiele auch für die Leuchtorgane. Die

Leuchtorgane des Rumpfes besitzen ebenfalls reflektierende Hohlspiegel und sind so drehbar, daß das Licht entweder nach unten, nach hinten oder seitwärts, aber nicht nach oben fallen kann.

Die Facettenaugen sind bei den Mysideen aus dem flachen Wasser und bei *Euphausia* einfache Kugelaugen. Bei *Nematoscelis*, *Thysanoëssa* zerfällt das Auge in eine nach vorn und oben gerichtete Partie: das Frontalauge, und in eine größere untere: das Seitenauge. Bei den Tiefseeformen (*Stylocheiron*) ist die Sonderung weiter vorgeschritten. Das Frontalauge hat nur wenig (30—60) Facettenglieder und dürfte wohl kaum ein feineres Bild sehen können. Überdies ist es so gestellt, daß es die Lichtstrahlen, die von den seitlichen Leuchtorganen ausgehen, nicht wahrzunehmen imstande ist. Dagegen sehen die großen Seitenaugen direkt auf die von den Leuchtorganen beschienenen Gegenstände.

34) Der *Ipnops Murrayi* wurde in der bedeutenden Tiefe von 2925—3932 m auf der Challenger-Expedition aufgefunden und ist blind. Ob die mächtigen, seitlich im Kopf zur Ausbildung gelangten Organe in der That Leuchtorgane sind, steht nicht über jeden Zweifel erhaben. Es wurde auch die Vermutung ausgesprochen, daß es sich um elektrische Organe handeln könnte.

In einer ähnlichen Weise wie die Leuchtorgane der Crustaceen sind auch die der *Scopeliden* und *Stomiaden* mit einem hohlspiegelartigen Reflektor versehen. Die mit einem Stirnstachel oder Frontalfortsatz ausgestatteten Melanoceten und andere auf der Tiefsee-Expedition erbeuteten Fische scheinen an der Spitze dieser Fortsätze voluminöse Leuchtorgane zu tragen, die, wenn sich diese Deutung bewahrheiten sollte, eine ziemlich intensive Lichtentfaltung ermöglichen würden.

35) *Ethusa granulata* Norman wurde von Milne-Edwards als eine besondere Gattung *Cymonomus* beschrieben. Die eigentümlichen Veränderungen der Augen in den verschiedenen Meerestiefen erwähnt zuerst Norman (Wyville-Thomson, Depths of the Sea). Ein ganz ähnliches Beispiel bietet der *Bathyplax typhlus*, der vom Challenger gefischt und von Miers als *var. oculiferus* beschrieben wurde (Challenger-Report Vol. 17). Das zwischen 55 und 730 m gefundene einzige Individuum hatte kleine getrennte Augenstiele mit gesonderten terminalen Augen. Die von Agassiz auf dem »Blake« (1877—1879) in 773—825 Faden Tiefe gefischte Form beschrieb dagegen Milne-Edwards als blind, kenntlich durch fast unbewegliche Augenstiele, die rückgebildete Augen ohne Cornea tragen.

Hier treffen wir also die verschiedenen Stadien der Rückbildung noch bei den verschiedenen Individuen einer Art an.

In anderen Fällen aber sind einzelne Arten und Gattungen vollständig in die Tiefe eingewandert und haben dabei die Sehorgane bereits gänzlich eingebüßt, während andere oberflächlich lebende Arten derselben Familie noch sehend geblieben sind. Die Galateiden, eine zu den langschwänzigen Decapoden gehörende Krebsfamilie, bieten uns für diese Art des Vorrückens und der Veränderung einen überzeugenden Beweis; sie leben von den oberflächlichen Schichten an bis zu Tiefen von über 3650 m. Aber nicht alle Gattungen haben die gleiche bathymetrische Verbreitung, sondern nur einige sind es, die die Tiefe bewohnen. *Galatea* lebt ganz oberflächlich bis zu etwa 45 m Tiefe. Manche Arten *Munida* steigen bereits bis zu 900 m hinab, und darüber hinaus bis in die abyssalen Gründe finden sich solche Arten der Gattungen *Galacantha* und *Munidopsis*, die im Zusammen-

hange mit dieser Lebensweise die Augen verloren haben, blind und dann auch in der Regel ganz farblos oder bleich sind. (Vgl. Faxon, The Stalk-Eyed Crustacea 1895).

In anderen Fällen ist die Wanderung einer ganzen größeren Tiergruppe, etwa einer Familie, von der Oberfläche in die Meerestiefe bereits zu vollständigem Abschlusse gelangt, indem gleichzeitig gewisse Veränderungen in der Organisation auftraten. Der Vorgang vollzog sich immer nur innerhalb sehr langer Zeiträume, im Laufe geologischer Erdperioden, und das Ergebnis ist demnach das, dass alte paläontologische Flachwasserformen, die man längst ausgestorben wähnte, gegenwärtig in der Tiefe vorkommen.

Einen überzeugenden Beweis hierfür bieten uns die Eryoniden, eine den Langusten (*Palinurus*) nahestehende Krebsgruppe, die man früher nur fossil aus der Kreide und dem Jura kannte. Namentlich im lithographischen Schiefer von Bayern ist die Gattung *Eryon* weit verbreitet, und augenscheinlich lebte sie im Jurameer in den oberen Schichten stiller Buchten. Die Tiefseeforschungen haben uns mit einer Anzahl lebender Eryoniden bekannt gemacht, die von den fossilen durch den Mangel der Augen sich unterscheiden, und die lebende blinde Gattung *Polycheles* hat man mit dem fossilen augentragenden *Eryon* wohl mit Recht identifiziert. *Polycheles* sowohl wie *Eryonicus* und *Willemoesia* finden sich nur in der Tiefe. Einige wenige Arten (*Polycheles tanneri*, *Eryonicus spinulosus*) leben in 550—700 m Tiefe, die meisten aber erst unterhalb 1000 m, und manche Formen (*Willemoesia inornata*) sind überhaupt nicht oberhalb 2400 m beobachtet worden.

In der bathymetrischen Verteilung der Eryoniden erkennen wir somit das Ende einer langen Entwicklungsreihe, die mit ähnlichen Verhältnissen, wie wir sie bei der *Ethusa* kennen gelernt haben, begonnen haben musste. Zuerst steigen nur einzelne Individuen einer Art in die Tiefe, um sich den neuen Bedingungen anzupassen, dann folgen die anderen, und die ganze Art verschwindet aus den oberen Meeresregionen. So wie bei einzelnen Arten vollzieht sich der gleiche Vorgang auch bei Gattungen und selbst bei ganzen Familien.

In einer ähnlichen Weise ist auch die Verschiedenheit in der bathymetrischen Verbreitung der gestielten Crinoiden in der Gegenwart und im mesozoischen Zeitalter zu verstehen. Die jetzt lebenden Gattungen sind ausgesprochene Tiefseeformen, wenn immerhin auch zuweilen zahlreichere Individuen einiger Arten sich oberhalb der Hundertfadentiefe finden. Die paläozoischen Crinoiden, deren Gattungen und Arten allerdings nicht bis in die Triasperiode hinüberreichen, lebten dagegen zumeist im seichteren Wasser, häufig in Gesellschaft der Riffkorallen, und das Gleiche gilt für die meisten Neocrinoiden während der Kreide-, Jura- und Triaszeit. In der Tertiärperiode scheinen sie sich zumeist bereits in der Tiefe gefunden zu haben, und da uns bisher die meisten tertiären Ablagerungen nur aus seichteren Meerestiefen bekannt geworden sind, möchte es sich erklären, dass wir von manchen Crinoidenfamilien (Apiocriniden, Plicatocriniden) der Jetztzeit zwar fossile Reste aus dem mesozoischen Zeitalter, nicht aber aus dem Tertiär kennen. Manche Crinoiden scheinen aber allerdings bereits im Jura in größeren Tiefen mit Hexactinelliden und Lithistiden vergesellschaftet vorgekommen zu sein (Plicatocriniden), sodaß nicht alle Formen erst in jüngeren geologischen Perioden die Einwanderung in die Tiefe ausgeführt haben dürften.

36) Zwei Extreme dieser beiden verschiedenen Entwicklungsweisen der Sehorgane in der Tiefsee finden wir unter den Fischen bei *Ipnops Murrayi* Günther und

Macrurus holotrachys Günther. Während der erstere völlig blind ist (vgl. oben p. 45), besitzt der letztere enorm große, fast die ganze Breitseite des Schädels einnehmende Augen. Der *Macrurus* wurde in etwa 1200 m Tiefe gefangen, aber als gewandter Schwimmer wird er oft auch tiefer hinabtauchen und höher emporsteigen, um dann in die vom Sonnenlicht nur düster erhellten Wasserschichten zu gelangen und seine Sehorgane mit Erfolg verwenden zu können. Eine ganz eigenartige Entwicklung erfahren aber die Augen mancher Tiefseefische, indem sie zu sog. »Teleskopaugen« werden, die namentlich bei Jugendformen oft auf ansehnlich langen, beweglichen Stielen sitzen. Zu den bereits bekannten Fischen mit Teleskopaugen (*Argyropelecus, Opisthoproctus*) hat die deutsche Tiefsee-Expedition eine Reihe neuer Formen hinzugefügt, die ganz neuen Familien angehören dürften. Auch achtarmige Cephalopoden, die ähnlich gestielte Teleskopaugen besaßen, wurden aus größeren Tiefen gehoben.

37) Unter den Schwämmen gelten die Hexactinelliden als typische Tiefseeformen. Ihre vertikale Verbreitung beginnt mit vereinzelten Ausnahmen erst jenseits von 180 m Tiefe und reicht bis über 5500 m hinab. In Tiefen von über 4000 m finden sich noch zahlreiche prächtige Formen. Wenn auch nicht durch die gleichen Arten wie jetzt in der Tiefsee, so sind doch durch nahe Verwandte die Hexactinelliden in der Kreide- und Jurazeit reich vertreten. In der ganzen Tertiärzeit treten sie auffallend zurück. Es erklären sich diese Erscheinungen daraus, daß das Tertiär uns fast allenthalben nur aus Seichtwasserablagerungen bekannt ist, in welchen schon damals, so wie auch jetzt noch, die Hexactinelliden gänzlich fehlten oder doch nur sehr spärlich vorkamen, während aus der Kreide- und Jurazeit reichliche Ablagerungen, wenn auch nicht aus abyssalen Regionen, so doch aus Tiefen von mehreren 100 m erhalten sind. Umgekehrt bevorzugen die Kalkschwämme gegenwärtig das seichte Wasser, und dementsprechend finden sie sich fast ausnahmslos in den geologischen Schichten, die in seichten Meeresbecken zur Ablagerung gelangten, das sind »mergelige, thonige und sandige Ablagerungen von entschieden litoralem Charakter«. Demnach verhalten sich die Spongien in bezug auf die bathymetrische Verteilung auch jetzt noch sehr ähnlich wie in früheren geologischen Erdperioden. Daß diese Übereinstimmung freilich nicht für alle anderen Gruppen des ganzen Tierreichs gilt, lehrten uns schon unter den Krebsen die Eryoniden, die zur Kreidezeit im Flachwasser, jetzt in der Tiefe vorkommen (vgl. oben p. 46).

Noch auffallender als die Schwämme schienen die Echinodermen der Tiefsee einen altertümlichen Charakter darzubieten. Die Familien der Saleniaden, Echinothuriden und Ananchytiden, deren Hauptverbreitungsgebiet in die Kreide fällt, glaubte man längst ausgestorben, bis zuerst im Jahre 1869 von Pourtalès und Wyville-Thomson einzelne lebende Vertreter in der Tiefe gedredscht wurden. Auf solche und ähnliche Fälle gründete sich der Ausspruch Pagenstechers: »Eine Sammlung von Tiefseeigeln gleicht mehr der Kreidezeit als der Fauna geringer Tiefen europäischer Meere.«

Es erklären sich aber diese Erscheinungen daraus, daß die Echinothuriden und zum Theil auch die Ananchytiden des mesozoischen Zeitalters offenbar ebenfalls bereits Bewohner der tieferen Meeresregionen waren und daher — wie die Echinothuriden — in den Seichtwasserablagerungen der Tertiärzeit überhaupt noch

nicht nachgewiesen werden konnten. Anderseits sind jetzt *Salenia* und unter den Echinothuriden *Asthenosoma* durchaus nicht ausschließlich Tiefseeformen, sondern sie sind neuerdings auch in viel geringeren Tiefen wiedergefunden worden (vgl. oben p. 35). Bemerkenswert ist es auch, daß die Seeigelgattung *Cidaris*, die unter allen lebenden am weitesten zurückreicht und bereits im Trias sich findet, vorwiegend im seichteren Wasser verbreitet ist, gelegentlich zwar auch in tiefere Schichten hinabsteigt, doch die großen abyssalen Abgründe nicht erreicht. Und ebenso muss es auffallen, daß die Pourtalesien, die von A. Agassiz bei Florida in 349 Faden Tiefe (640 m) entdeckt und seither in mehreren Arten und Gattungen größtenteils in beträchtlichen Tiefen (bis zu 5300 m) gefunden wurden, auf die Jetztzeit beschränkt zu sein scheinen. (Vgl. über die bathymetrische Verteilung der fossilen Hexactinelliden und Echinodermen M. Neumayr, Die Stämme des Tierreichs 1889).

38) Im seichten Wasser der litoralen Meereszonen lebt ein Brachiopod oder Armfüßer, die Lingula, die seit der Silurzeit, vielleicht schon seit der cambrischen, bis zur Gegenwart fast unverändert geblieben ist, und es giebt in der gesamten organischen Welt außer dem *Nautilus* vielleicht keine zweite Form, die so lange Zeiträume hindurch so zäh und starr ihre Organisation bewahrt hätte.

Wenn auch nicht im seichten Küstenwasser, so doch in mittleren Tiefen und gewiss nicht in den abyssalen Regionen des indischen und stillen Oceans findet sich der *Nautilus*. Die gekammerte, in einer Ebene spiralig gewundene große Schale des Tieres ist allgemein bekannt; nach der Politur silberartig, perlmutterglänzend wird sie häufig als Zimmerschmuck aufgestellt, und man sieht sie oft silber- und goldverziert als Trinkgefäß in älteren Raritätensammlungen. Die leeren mit Luft gefüllten Schalen treiben häufig an der Meeresoberfläche, viel seltener aber werden die Tiere selbst gefunden. Der Laie würde vielleicht aus der äußeren Schalenform auf eine Schnecke schließen, in Wahrheit gehört aber das Tier zu der Klasse der Cephalopoden oder Kopffüßer. Die ursprünglichsten und ältesten Cephalopoden stellen die Vierkiemer dar. Sie beginnen in den cambrischen Schichten des paläozoischen Zeitalters und werden gegenwärtig nur durch die Gattung *Nautilus* vertreten, die bereits im Silur vorkommt.

Im seichten Wasser an den schlammigen Küsten Nordamerikas und im indischen Ocean lebt auch der Molukkenkrebs, die Gattung *Limulus*. Sie tritt schon im Buntsandstein der unteren Trias auf und hat sich als einziger lebender Vertreter einer ganzen Crustaceengruppe erhalten, die schon im paläozoischen Zeitalter von großer Bedeutung war.

39) Unter den Fischen des Süßwassers sind es die Ganoiden und die Lungenfische, Dipnoer, die in früheren Perioden eine weite Verbreitung besaßen und gegenwärtig in verhältnismäßig nur wenigen ursprünglichen Arten sich erhalten zeigen.

40) Auf dem festen Lande finden wir eine stattliche Zahl Gattungen, die durch sehr altertümliche Merkmale ausgezeichnet sind. Hierher gehören vor allem gewisse landbewohnende Lungenschnecken, die unserer bekannten Weinberg schnecke sehr nahe stehen. Zahlreiche Gattungen haben sich durch das ganze Tertiär, viele schon von der Kreide her bis zur Gegenwart unverändert erhalten, und manche (*Pupa*, *Dendropupa*) treten, in nur unwesentlichen Zügen verändert,

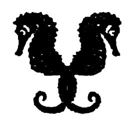
bereits in der Steinkohlenformation auf. Auch unter den landbewohnenden Gliedertieren lassen sich derartige Beispiele nachweisen. Manche lebenden Skorpione und Geißelspinnen stehen uralten fossilen aus der Carbonzeit sehr nahe, und unter den Insekten weisen die jetzt lebenden Apterygoten, deren Flügelmangel man als eine ursprüngliche, von der Insektenstammform her ererbte Eigentümlichkeit auffaßt, auf ganz ähnliche flügellose Formen der Steinkohlenformation hin.

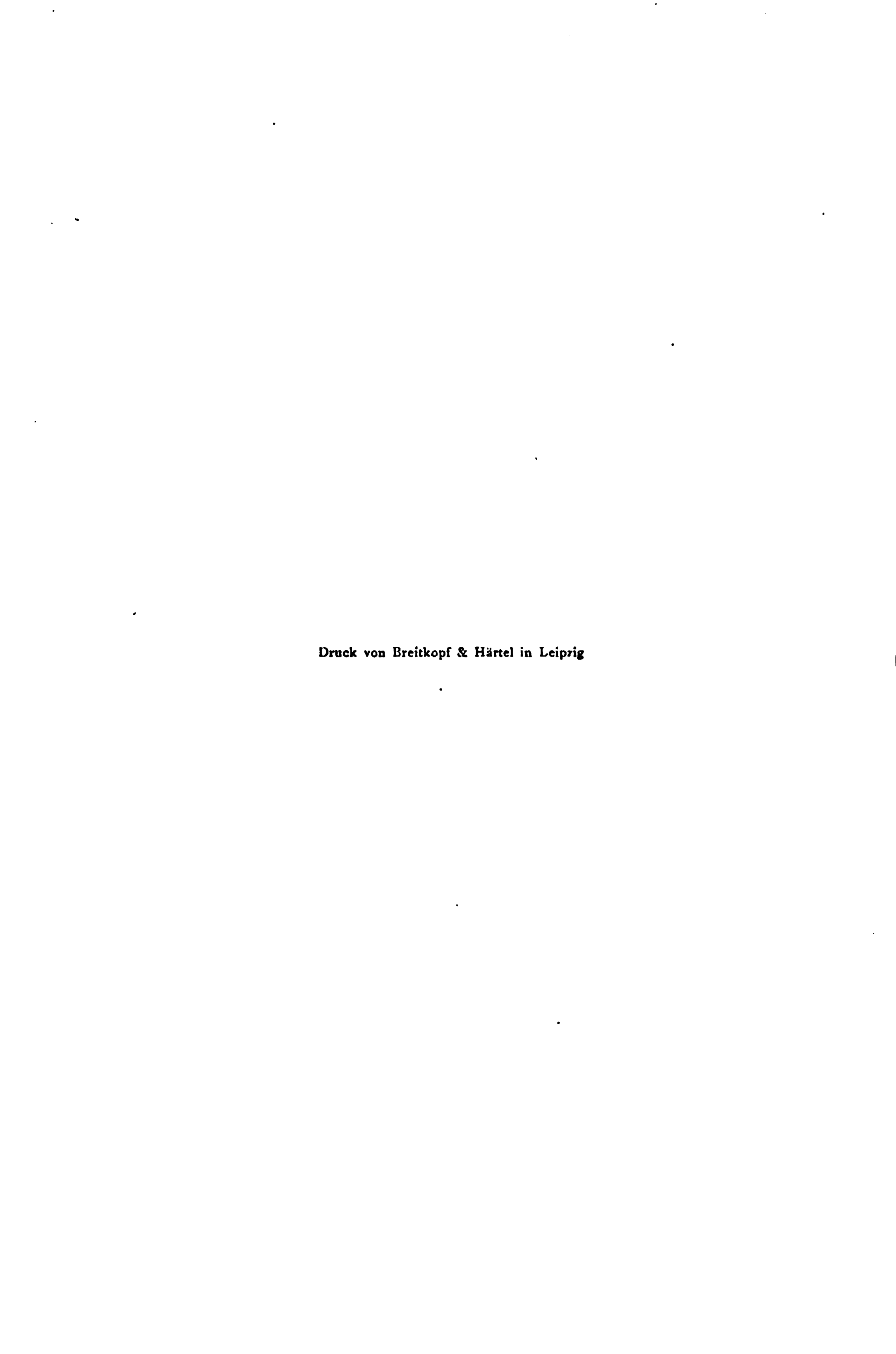
Unter den höheren Wirbeltieren fehlt es ebenfalls nicht auf dem Lande an Gattungen mit altertümlichem Gepräge. Eine auf Neuseeland lebende Eidechsengattung *Hatteria* oder *Sphenodon* gehört in eine alte Reptiliengruppe, die man früher nur fossil aus dem Jura kannte. Unter den lebenden Säugetieren zeigen außer den obengenannten auch die wenig zahlreichen Halbaffen, Prosimier, zum Teil altertümlichen Habitus und weisen auf Formen hin, die im älteren Tertiär vorkommen und als Stammformen der gesamten Affenordnung betrachtet werden.

41) Zutreffend bemerkt K. Brandt (Chun, Die pelag. Tierwelt in größeren Meerestiefen, 1887, p. 7), daß das Vorkommen leerer Schalen und Skelette in bestimmten Tiefen durchaus nicht beweise, daß die Tiere auch im lebenden Zustande in den betreffenden Regionen sich aufgehalten haben, »denn Skelette von *Spongosphaera* und anderen Radiolarien bleiben selbst in einem Glase Wasser mehrere Tage, ja Wochen lang in der Schwebe wegen des Reibungswiderstandes, den die zahllosen feinen Kieselfäden dem Wasser entgegensetzen«.

42) Auch die festen und widerstandsfähigeren Teile gelangen nicht alle unverändert auf den Grund. Selbst die Kieselschalen mancher Diatomeen werden verhältnismäßig rasch aufgelöst, denn die deutsche Tiefsee-Expedition fand die an der Oberfläche in ungeheuren Mengen vegetierenden *Chaetoceras* und *Corethron* in 600 m Tiefe fast ausnahmslos vollständig zerstört. Die Kieselpanzer anderer Diatomeen leisten besser Widerstand (*Coscinodiscus*, *Fragilaria*, *Synedra*) und finden sich oft unverändert im Diatomeenschlamm der Tiefe. Im großen und ganzen werden wir aber annehmen dürfen, daß die Veränderungen um so bedeutender sein werden, je weitere Strecken die leeren Gehäuse und Skelette zu durchmessen hatten, um bis auf den Meeresgrund zu gelangen. Der Erhaltungszustand der organischen Produkte in den sedimentären Ablagerungen giebt daher gewisse Anhaltspunkte zur Beurteilung der Meerestiefen in früheren geologischen Erdperioden.

Rostock, Dezember 1900.





Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig





